

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

**А. Ю. Матюхин, М. А. Мельтенисов,
П. Г. Подгайский, Е. Л. Федорова**

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ**

АРХИТЕКТУРА OTN

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

СПб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

УДК 621.391(075.8)
ББК 32.88 73
П 2

Рецензенты:

кандидат технических наук, начальник центра управления
сетью ЗАО «РАСКОМ»

Д. А. Никитин

кандидат технических наук, доцент кафедры Фотоники и линий связи

В. С. Иванов

*Утверждено редакционно-издательским советом СПбГУТ
в качестве учебного пособия*

Матюхин, А. Ю.

Перспективные технологии в инфокоммуникационных системах.

Архитектура OTN : учебное пособие / А. Ю. Матюхин, М. А. Мельтенисов,
А. Г. Подгайский, Е. Л. Федорова ; СПбГУТ. – СПб., 2019. – ___ с.

Приведена архитектура Оптической транспортной сети. Рассмотрены этапы мультиплексирования и отображения при формировании сигналов Оптических транспортных блоков. Приведены алгоритмы функций адаптации и завершения трейла в сетевых слоях цифровой части OTN.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям:

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи,

11.05.04 Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи.

**УДК 621.316.5
621.395**

© Матюхин А. Ю., Мельтенисов М. А.,
Подгайский А. Г., Федорова Е. Л.

© Федеральное государственное образовательное
бюджетное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Общие положения.....	4
1. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ.....	5
Задачи.....	12
2. СТРУКТУРЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И ОТОБРАЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ	13
Задачи.....	25
3. ФУНКЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ.....	28
3.1. Функции адаптации.....	28
3.2. Функции завершения трейла.....	49
Задачи.....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ	56
1. Отображение терминов.....	56
2. Компонентные сигналы в Оптической транспортной сети.....	58
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	61

Общие положения

Технологии транспортных сетей разрабатывались последовательно во времени. Каждая технология позволяет строить сети каналов и трактов, которые находятся в иерархических отношениях по пропускной способности.

Каналы и тракты разных технологий также находятся в иерархических отношениях по пропускной способности.

Первая технология – Аналоговая. Используется частотное мультиплексирование.

Вторая технология – Плезиохронная цифровая иерархия. Известны три структуры мультиплексирования: Европейская, Североамериканская и Японская. Используется цифровое мультиплексирование.

Третья технология – Синхронная цифровая иерархия. Применяется цифровое мультиплексирование.

Четвертая технология – Оптическая транспортная сеть. Применяется цифровое мультиплексирование. Для передачи по оптическим волокнам применяется мультиплексирование с разделением по длинам волн – спектральное мультиплексирование.

В 2001 г. была опубликована первая редакция Rec. ITU-T G.709/Y.1331. В 2016 г. – пятая редакция. Всего, включая Дополнения и Коррекцию, к 2016 г. было опубликовано 20 текстов. Анализ этих текстов позволяет оценить направления в разработке технологии Оптической транспортной сети.

В учебном пособии приведены функциональные модели, мультиплексирование сигналов в цифровых сетевых слоях и функции адаптации и завершения трейла Оптической транспортной сети. В каждый раздел включены задачи.

1. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

Телекоммуникационные транспортные сети составляют базовые сети Глобальной информационной инфраструктуры.

Эти сети включают сети передачи информации, сети тактовой синхронизации и сети контроля и управления и позволяют организовать типовые каналы и тракты. В каналах и трактах выполняется непрерывный контроль качества передачи и предусмотрена защита от повреждений в сети.

Для каждой технологии телекоммуникационных транспортных сетей разрабатываются архитектурное представление, структуры мультиплексирования и отображения сигналов.

Компоненты архитектуры транспортных телекоммуникационных сетей объединены в четыре группы.

1. Топологические компоненты: сетевые слои, сети, подсети, линии.
2. Функции: адаптации, завершения трейла, соединения.
3. Контрольные точки: точки доступа, точки соединения, точки завершения соединения и другие.
4. Транспортные объекты: трейлы трактов, секций и соединения сетей, подсетей и линий.

В Оптической транспортной сети для передачи сигналов клиентов организуют типовые цифровые тракты **ODU** – тракты оптических блоков данных.

На рис. 1.1 и 1.2 приведены примеры интерфейсов в цифровых и оптических сетевых слоях **OTN**.

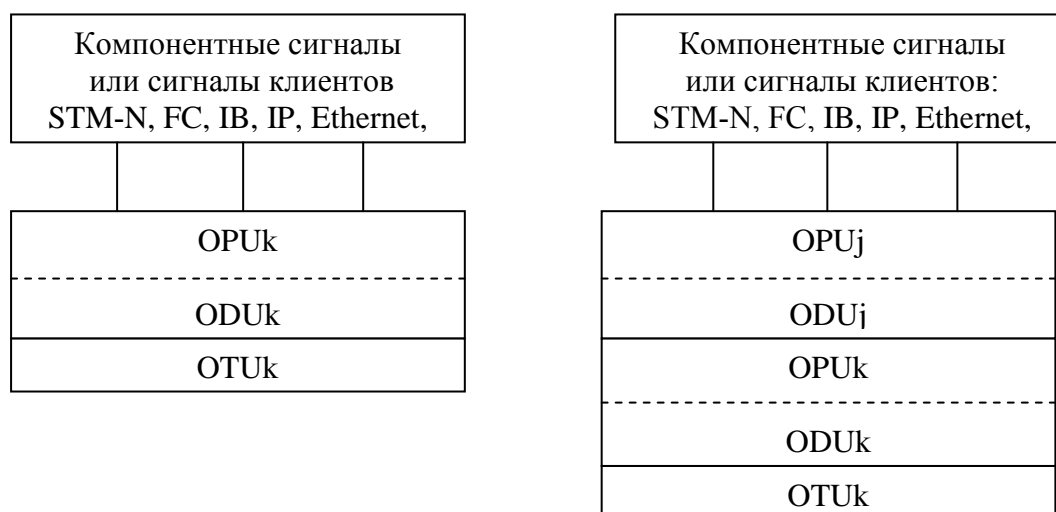


Рис. 1.1. Примеры интерфейсов в цифровых слоях Оптической транспортной сети:

OPU Optical Payload Unit – оптический блок полезной нагрузки;

ODU Optical Data Unit – оптический блок данных;

OTU Optical Transport Unit – оптический транспортный блок;

i, k – виды блоков

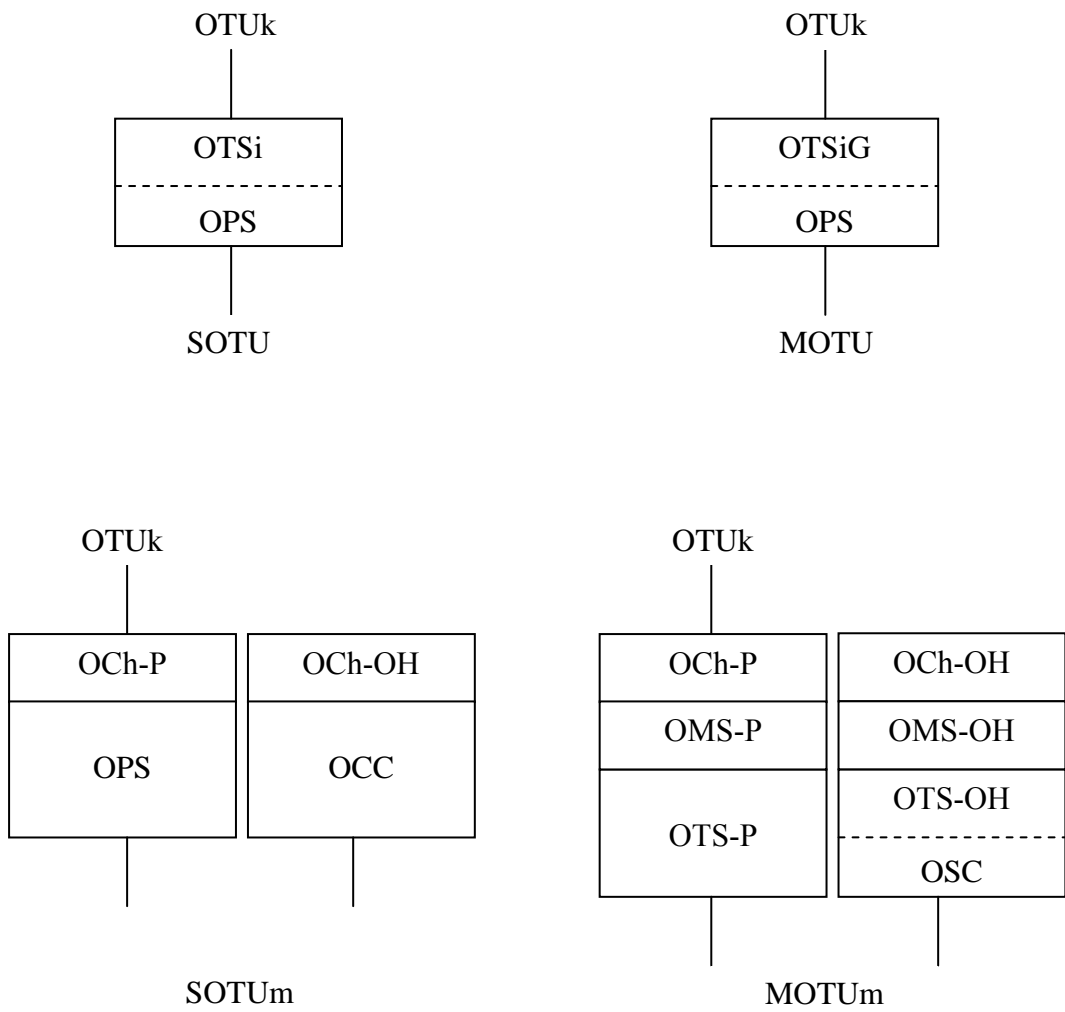


Рис. 1.2. Примеры интерфейсов в оптических слоях Оптической транспортной сети:

- OTSi Optical Tributary Signal** – оптический трибутарный сигнал;
- OTSiG Optical Tributary Signal Group** – группа оптических трибутарных сигналов;
- OPS Optical Physical Section** – оптическая физическая секция;
- OCh-P Optical Channel Payload** – полезная нагрузка оптического канала;
- OCh-OH Optical Channel Overhead** – заголовок оптического канала;
- OCC Overhead Communication Channel** – заголовок канала связи;
- OMS-P Optical Multiplex Section Payload** – полезная нагрузка оптической мультиплексной секции;
- OMS-OH Optical Multiplex Section Overhead** – заголовок мультиплексной секции;
- OTS-P Optical Transmission Section Payload** – полезная нагрузка оптической секции передачи;
- OTS-OH Optical Transmission Section Overhead** – заголовок оптической секции передачи;
- OSC Optical Supervisory Channel** – оптический канал наблюдения

Агрегатные сигналы:

- SOTU Single-OTU;**
- MOTU Multi-OTU;**
- SOTUm Single-OTU with management;**
- MOTUm Multi-OTU with management**

Сетевые слои относятся к группе топологических компонентов и находятся в отношениях клиент/сервер. Для сетевых слоев возможно применение процедур композиции и декомпозиции. На рис. 1.3 и 1.4 приведены функциональные модели фрагментов Оптической транспортной сети в соответствии с рис. 1.1.

В каждый сетевой слой включаются две обрабатывающие функции: функция адаптации *A* и функция завершения трейла *T*. В сетевые слои типовых трактов включаются также функции соединения *C*. Функции соединения обеспечивают маршрутизацию каналов и трактов и защиту.

В сетевых слоях трактов оптических блоков данных **ODU** и секций оптических транспортных блоков **OTU** выполняется контроль качества передачи без перерыва связи с применением процедур битового чередуемого паритета **ВІР8**, по результатам применения которых определяются такие показатели качества, как относительные величины фоновых блочных ошибок и секунд со значительными ошибками. Кроме того в сеть контроля и управления поступают сигналы с выходов детекторов дефектов, которые также используются в определении относительной величины секунд со значительными ошибками. Примерами таких детекторов могут быть «Потеря циклового синхросигнала», «Потеря сверхциклового синхросигнала».

На рис. 1.3 приведена функциональная модель фрагмента сети с сетевыми слоями трактов **ODU_k**, $k = 1, 2, 3, 4$ и секций **OTU_k**, $k=1, 2, 3, 4$.

В каждом сетевом слое организуются транспортные объекты: трейлы и соединения. На рис. 1.3 показан трейл в слое Оптического блока данных. Интерфейсами трейлов являются контрольные точки доступа **AP**. Показано также соединение сети в слое Оптического транспортного блока. Интерфейсами соединения сети в данном случае являются контрольные точки завершения соединения **ТСР**.

На рис. 1.4 приведена функциональная модель фрагмента сети с сетевыми слоями трактов **ODU_j**, $j=0, flex, 1, 2, 3$ трактов **ODU_k**, $k = 1, 2, 3, 4$ и секций **OTU_k**, $k=1, 2, 3, 4$. Для формирования сигналов **ODU_k** применяется цифровое мультиплексирование.

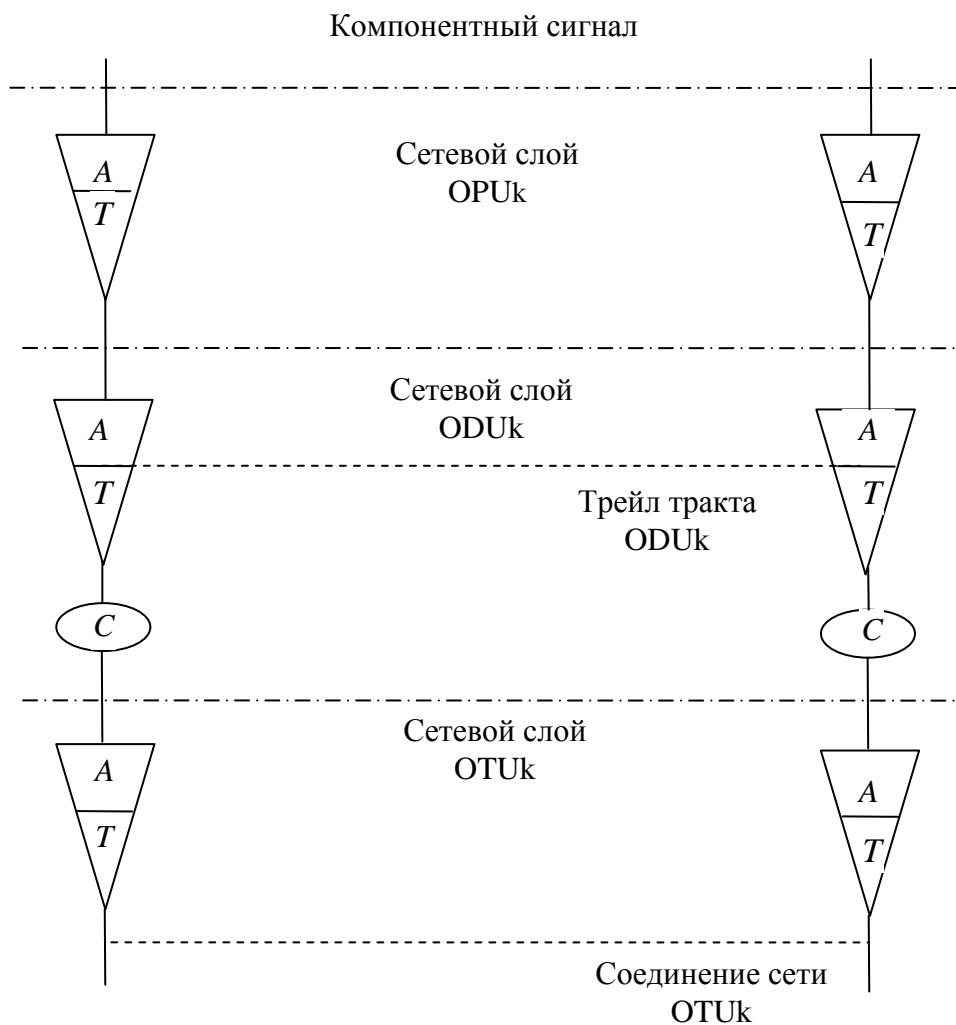


Рис. 1.3. Функциональная модель фрагмента Оптической транспортной сети с цифровыми сетевыми слоями ODUk и OTUk

Компонентный сигнал

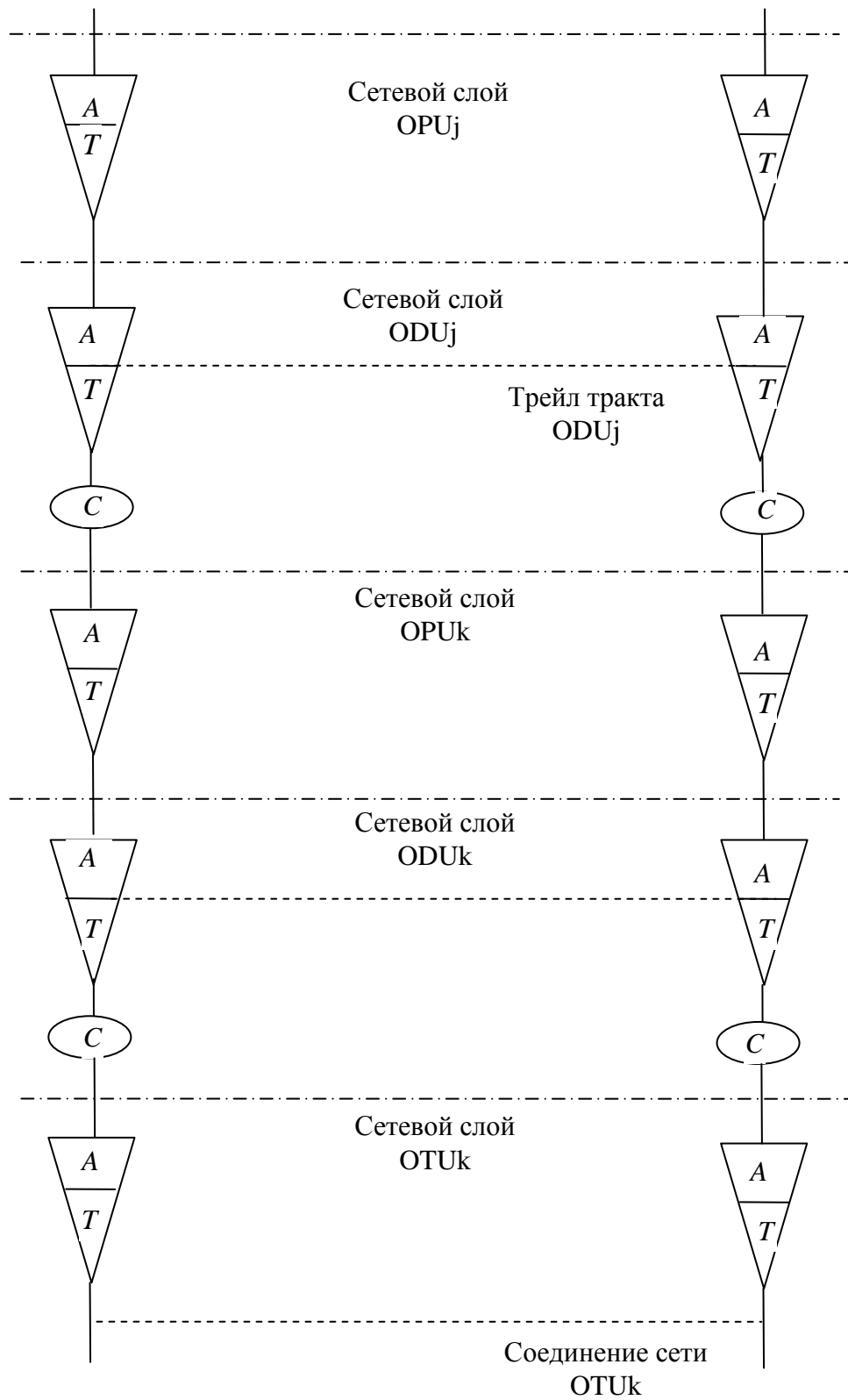


Рис. 1.4. Функциональная модель фрагмента Оптической транспортной сети с цифровыми сетевыми слоями ODUj, ODUk и OTUk

Для мультиплексирования сигналов **ODU_j** в **ODU_k** определены трибу-
тарные слоты **TS**. Количество **TS** для каждого оптического блока данных
приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Количество трибутарных слотов для каждого оптического
блока данных

Обозначение трибутарного слота	TS 1.25G	TS 2.5G
Номинальная скорость передачи трибутарного слота	1,25 Гбит/с	2,5 Гбит/с
ODU1	2	–
ODU2	8	4
ODU3	32	16
ODU4	80	–

В табл. 1.2 приведены примеры ассоциаций цифровых сетевых слоев
клиент/сервер в Оптической транспортной сети.

Таблица 1.2

Примеры ассоциаций цифровых сетевых слоев клиент/сервер
в Оптической транспортной сети

Сетевой слой клиента	Сетевой слой сервера	Сигналы клиентов
STM-1	OPU0	
STM-4	OPU0	
STM-16	OPU1	
STM-64	OPU2	
STM-256	OPU3	
STM-64	OPU1-4v	
STM-256	OPU2-4v	
1 G Ethernet	OPU0	Приложение 2
10 G Ethernet	OPU2	Приложение 2
40 G Ethernet	OPU3	Приложение 2
100 G Ethernet	OPU4	Приложение 2
IB SDR	OPUflex	Приложение 2
IB DDR	OPUflex	Приложение 2
IB QDR	OPUflex	Приложение 2
1G FC	OPU0	Приложение 2
2G FC	OPU1	Приложение 2
4G FC	OPUflex	Приложение 2
8G FC	OPUflex	Приложение 2
16G FC	OPUflex	Приложение 2
32G FC	OPUflex	Приложение 2
1,5G SDI	OPU1	Приложение 2
3G SDI	OPUflex	
OPU0	ODU0	
OPU1	ODU1	
OPU2	ODU2	

Окончание табл. 1.2

Сетевой слой клиента	Сетевой слой сервера	Сигналы клиентов
OPU3	ODU3	
OPU4	ODU4	
OPU0	ODU1	
OPU0	ODU2	
OPU0	ODU3	
OPU0	ODU4	
OPU1	ODU2	
OPU1	ODU3	
OPU1	ODU4	
OPU2	ODU3	
OPU2	ODU4	
OPU3	ODU4	
OPUflex	OPU1	
OPUflex	OPU2	
OPUflex	OPU3	
OPUflex	OPU4	
ODU1	OTU1	
ODU2	OTU2	
ODU3	OTU3	
ODU4	OTU4	

Задачи

1.1. Для фрагмента транспортной сети разработать функциональную модель с цифровыми сетевыми слоями **OPUk** и **ODUk** для организации передачи заданного компонентного сигнала при использовании сетевого слоя секции вида **OTUk**.

Представить графически прохождение заданного компонентного сигнала с применением элементов архитектуры сети.

Номер варианта	Компонентные сигналы	Цифровые сетевые слои секций
01	STM-16	OTU1
02	STM-64	OTU2
03	STM-256	OTU3
04	STM-64	OTU2
05	STM-256	OTU3
06	100G Ethernet	OTU4
07	10G Ethernet	OTU2
08	40G Ethernet	OTU3
09	100G Ethernet	OTU4
10	STM-64	OTU2

1.2. Для фрагмента транспортной сети разработать функциональную модель с цифровыми сетевыми слоями **OPUj** и **ODUj**, **OPUk** и **ODUk** для организации передачи заданного компонентного сигнала при использовании сетевого слоя секции вида **OTUk**.

Представить графически прохождение заданного компонентного сигнала с применением элементов архитектуры сети.

Номер варианта	Компонентные сигналы	Цифровые сетевые слои секций
01	STM-16	OTU3
02	STM-64	OTU3
03	STM-256	OTU4
04	STM-64	OTU4
05	STM-64	4 OTU1
06	STM-256	16 OTU1
07	2G FC	OTU4
08	4G FC	OTU2
09	8G FC	OTU2
10	16G FC	OTU3
11	32G FC	OTU3
12	IB SDR	OTU1
13	IB DDR	OTU2
14	IB QDR	OTU3
15	1G Ethernet	OTU1
16	10G Ethernet	OTU3
17	100 G Ethernet	OTU4
18	100 G Ethernet	10 OTU2
19	1,5G SDI	OTU1
20	3G SDI	OTU2

2. СТРУКТУРЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И ОТОБРАЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Оптические сигналы в Оптической транспортной сети формируются с применением спектрального мультиплексирования, цифровые – с применением цифрового мультиплексирования и отображения.

Для отображения цифровых сигналов используются следующие процедуры:

AMP (Asynchronous Mapping Procedure) – асинхронная процедура отображения;

BMP (Bitsynchronous Mapping Procedure) – бит-синхронная процедура отображения;

GMP (Generic Mapping Procedure) – основная процедура отображения.

На рис. 2.1 – 2.5 по данным Rec. ITUT G.709/Y.1331 (06.2016) приведены структуры мультиплексирования и отображения цифровых сигналов в Оптической транспортной сети. Под каждым рисунком указаны полные названия сигналов на английском и русском языках.

Основные цифровые типовые тракты в Оптической транспортной сети – это тракты оптических блоков данных:

ODU0, ODU1, ODU2, ODU2e, ODU3, ODU4, ODUCn, ODUflex

Эти тракты маршрутизируются с применением функций соединения и контролируются в отношении качества передачи сигналов. Тракты организуются применением соответствующих цифровых сигналов оптических блоков данных.

В Оптической транспортной сети возможна организация конкатенированных трактов. Используется виртуальная конкатенация. Виртуально-конкатенированные тракты формируются в сетевом слое оптических блоков полезной нагрузки **OPUk-Xv**, $k=1, 2, 3$, $1 < X \leq 256$. Применяется инверсное мультиплексирование на передаче и инверсное демультимплексирование на приеме. Каждый **OPUk** записывается в отдельный **ODUk**. Допускается организация трактов **ODUk** по различным маршрутам в сети.

На рис. 2.6–2.8 показаны структуры циклов цифровых сигналов Оптической транспортной сети. Все структуры изображены прямоугольниками. Единица площади прямоугольников при расчете размеров циклов сигналов равна одному байту.

Компонентные сигналы или сигналы клиентов записываются с применением процедуры отображения в поле полезной нагрузки **OPUk P**. В зависимости от процедуры отображения заполняются байты заголовка **OPUk OH**.

В сетевом слое **ODUk** заполняются байты заголовка **ODUk OH**, а в сетевом слое **OTUk** – байты заголовка **OTUk OH** и вводятся сигналы цикловой и сверхцикловой синхронизации **FA**.

На рис. 2.1 – 2.5 изображения сигналов, полученных в результате отображения, затенены, в результате мультиплексирования – нет.

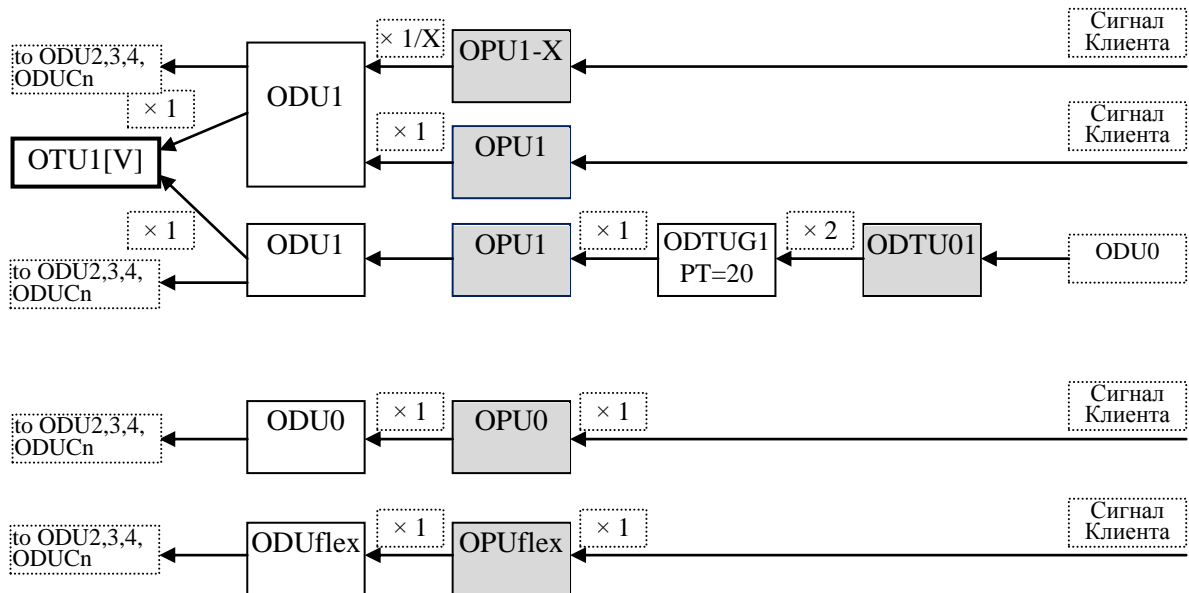


Рис. 2.1. Формирование **OTU1[V]**:

OTU1[V] Functionally standardized Optical Transport Unit 1 – функционально-стандартизированный оптический транспортный блок первого вида;

ODU1 Optical Data Unit 1 – оптический блок данных первого вида;

ODU0 Optical Data Unit 0 – оптический блок данных нулевого вида;

ODUflex Optical Data Unit flex – оптический блок данных вида flex;

OPU1-X Optical Payload Unit 1Xv – конкатенированный оптический блок полезной нагрузки первого вида с увеличенной в X раз полезной нагрузкой; v – виртуальная конкатенация;

OPU1 Optical Payload Unit 1 – оптический блок полезной нагрузки первого вида;

OPU0 Optical Data Unit 0 – оптический блок данных нулевого вида;

OPUflex Optical Payload Unit flex – оптический блок полезной нагрузки вида flex;

ODTUG1PT=20 Optical Data Tributary Unit Group 1; Payload Type = 20 – группа оптических трибутарных блоков данных первого вида 1; тип полезной нагрузки = 20;

ODTU01 Optical Data Tributary Unit 0 into 1 – оптический трибутарный блок данных 01

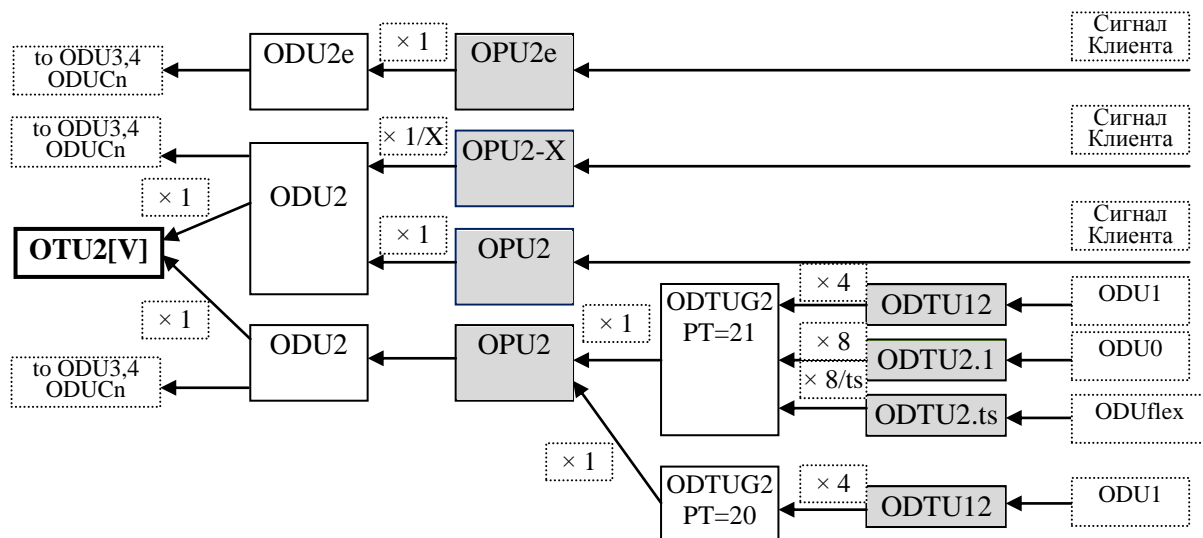


Рис. 2.2. Формирование OTU2[V]:

OTU2[V] Functionally standardized Optical Transport Unit 2 – функционально стандартизированный оптический транспортный блок второго вида;

ODU2e Optical Data Unit 2e – оптический блок данных вида 2e;

ODU2 Optical Data Unit 2 – оптический блок данных второго вида;

OPU2-X Optical Payload Unit 2Xv – конкатенированный оптический блок полезной нагрузки второго вида с увеличенной в X раз полезной нагрузкой; v – виртуальная конкатенация;

OPU2 Optical Payload Unit 2 – оптический блок полезной нагрузки второго вида;

ODTUG2 PT=21 Optical Data Tributary Unit Group 2; Payload Type = 21 – группа оптических трибутарных блоков данных вида 2; тип полезной нагрузки =21;

ODTUG2 PT=20 Optical Data Tributary Unit Group 2; Payload Type = 20 – группа оптических трибутарных блоков данных вида 2; тип полезной нагрузки =20;

ODTU12 Optical Data Tributary Unit 1 into 2 – оптический трибутарный блок данных 12;

ODTU2.1 Optical Data Tributary Unit 2.1 – оптический трибутарный блок данных 2.1;

ODTU2.ts Optical Data Tributary Unit 2 with tributary slots – оптический трибутарный блок данных второго вида с трибутарными слотами

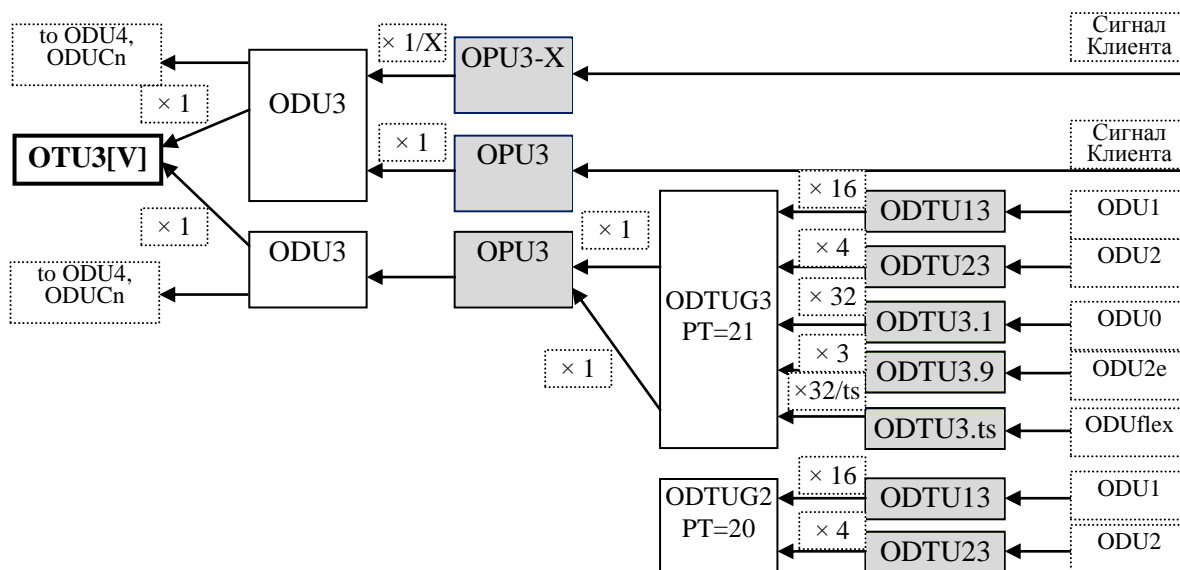


Рис. 2.3. Формирование **OTU3[V]**:

OTU3[V] Functionally standardized Optical Transport Unit 3 – функционально стандартизированный оптический транспортный блок третьего вида;

ODU3 Optical Data Unit 3 – оптический блок данных третьего вида;

OPU3-X Optical Payload Unit 3Xv – конкатенированный оптический блок полезной нагрузки третьего вида с увеличенной в X раз полезной нагрузкой; v – виртуальная конкатенация;

OPU3 Optical Payload Unit 3 – оптический блок полезной нагрузки третьего вида;

ODTUG3 PT=21 Optical Data Tributary Unit Group 3; Payload Type = 21 – группа трибутарных оптических блоков данных 3; тип полезной нагрузки =21;

ODTUG3 PT=20 Optical Data Tributary Unit Group 3; Payload Type = 20 – группа трибутарных оптических блоков данных 3; тип полезной нагрузки = 20;

ODTU23 Optical Data Tributary Unit into 23 – оптический трибутарный блок данных 23;

ODTU3.1 Optical Data Tributary Unit into 3.1 – оптический трибутарный блок данных 3.1;

ODTU3.9 Optical Data Tributary Unit into 3.9 – оптический трибутарный блок данных 3.9;

ODTU3.ts Optical Data Tributary Unit 3 with tributary slots – оптический трибутарный блок данных третьего вида с трибутарными слотами

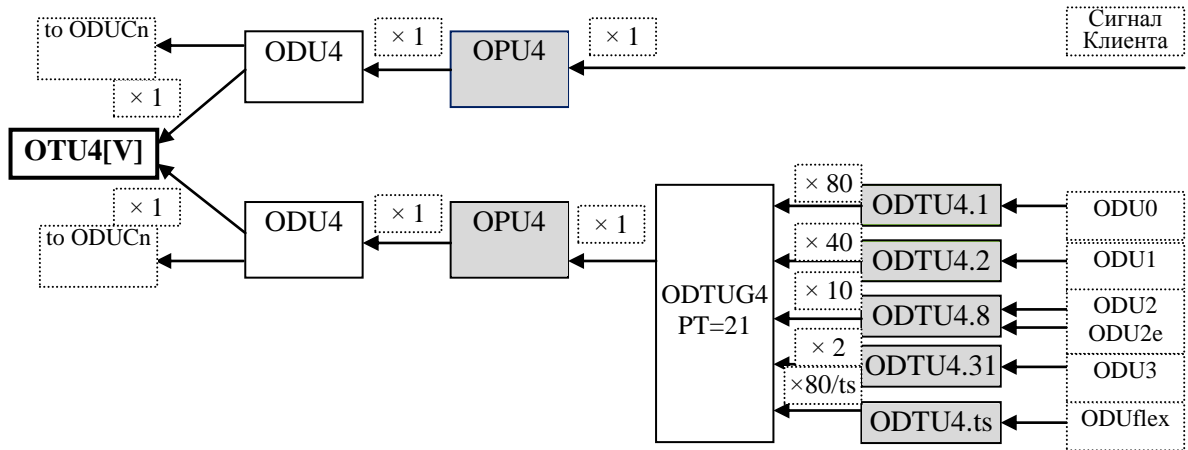


Рис. 2.4. Формирование OTU4[V]:

OTU4[V] Functionally standardized Optical Transport Unit 4 – функционально стандартизированный оптический транспортный блок четвертого вида;

ODU4 Optical Data Unit 4 – оптический блок данных четвертого вида;

OPU4 Optical Payload Unit 4 – оптический блок полезной нагрузки четвертого вида;

ODTUG4 PT=21 Optical Data Tributary Unit Group 4; Payload Type = 21– группа оптических трибутарных блоков данных 4; тип полезной нагрузки = 21;

ODTU4.1 Optical Data Tributary Unit 4.1 – оптический трибутарный блок данных 4.1;

ODTU4.2 Optical Data Tributary Unit 4.2 – оптический трибутарный блок данных 4.2;

ODTU4.8 Optical Data Tributary Unit 4.8 – оптический трибутарный блок данных 4.8;

ODTU4.31 Optical Data Tributary Unit 4.31 – оптический трибутарный блок данных 4.31;

ODTU4.ts Optical Data Tributary Unit 4 with tributary slots – оптический трибутарный блок данных четвертого вида с трибутарными слотами

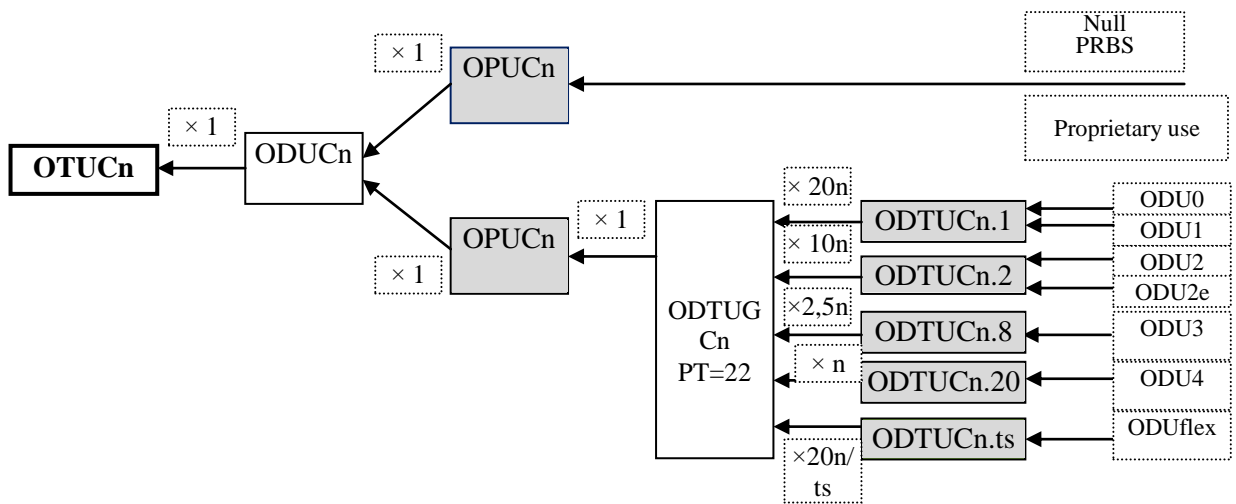


Рис. 2.5. Формирование **OTUCn**:

OTUCn Optical Transport Unit Cn – оптический транспортный блок Cn;

ODUCn Optical Data Unit Cn – оптический блок данных Cn;

OPUCn Optical Payload Unit Cn – оптический блок полезной нагрузки Cn;

ODTUG Cn PT=22 Optical Data Tributary Unit Group Cn; Payload Type = 22 – группа оптических трибутарных блоков данных Cn; тип полезной нагрузки = 22;

ODTUCn.1 Optical Data Tributary Unit Cn.1 – оптический трибутарный блок данных Cn.1;

ODTUCn.2 Optical Data Tributary Unit Cn.2 – оптический трибутарный блок данных Cn.2;

ODTUCn.8 Optical Data Tributary Unit Cn.8 – оптический трибутарный блок данных Cn.8;

ODTUCn.20 Optical Data Tributary Unit Cn.20 – оптический трибутарный блок данных Cn.20;

ODTUCn.ts Optical Data Tributary Unit Cn with tributary slots – оптический трибутарный блок данных Cn с трибутарными слотами

В табл. 2.1–2.9 приведены параметры цифровых сигналов Оптической транспортной сети, представленных на схемах структур мультиплексирования и отображения.

Таблица 2.1

Длительности циклов

Сигналы OTUk/ODUk/OPUk	Длительности циклов, мкс
ODU0/OPU0	98,354
OTU1/ODU1/OPU1/OPU1-Xv	48,971
OTU2/ODU2/OPU2/OPU2-Xv	12,191
OTU3/ODU3/OPU3/OPU3-Xv	3,035
OTU4/ODU4/OPU4	1,168
ODU2e/OPU2e	11,767
OTUCn/ODUCn/OPUCn	1,163
ODUflex/OPUflex	CBR: 121856/(скорость сигнала клиента бит/с)
ODUflex/OPUflex	GFP-F: 122368/(скорость ODUflex)

Примечание. Длительности циклов приведены с точностью трех знаков после запятой.

Таблица 2.2

Параметры сигналов OTUk

OTUk	Номинальные скорости, кбит/с	Допустимое отклонение от номинальной скорости, ppm	Аппроксимация номинальных скоростей, кбит/с
OTU1	255/238 × 2 488 320	±20	2 666 057,143
OTU2	255/237 × 9 953 280	±20	10 709 225,316
OTU3	255/236 × 39 813 120	±20	43 018 413,559
OTU4	255/227 × 99 532 800	±20	111 809 973,568
OTUCn	n × 239/226 × 99 532 800	±20	n × 105 258 138,053

Примечания. Для OTU1, OTU2, OTU3 и OTU4 скорости рассчитываются с учетом размещения FEC. Для OTUCn – поле размещения FEC не включается.

Таблица 2.3

Параметры сигналов ODUk

ODUk	Номинальные скорости, кбит/с	Допустимые отклонения от номинальных скоростей, ppm	Аппроксимации номинальных скоростей, кбит/с
ODU0	1 244 160	±20	
ODU1	239/238 × 2 488 320	±20	2 498 775,126
ODU2	239/237 × 9 953 280	±20	10 037 273,924
ODU3	239/236 × 39 813 120	±20	40 319 218,983
ODU4	239/227 × 99 532 800	±20	104 794 445,815
ODUCn	n × 239/226 × 99 532 800	±20	n × 105 258 138,053
ODU2e	239/237 × 10 312 500	±100	10 399 525,316
ODUflex для CBR	239/238 × (скорость сигнала клиента)	±100	
ODUflex для GFP-F		±100	

Таблица 2.4

Параметры сигналов **OPUk**

OPUk	Номинальные скорости в трактах OPUk, кбит/с	Допустимые отклонения от номинальных скоростей, ppm	Аппроксимации номинальных скоростей, кбит/с
OPU0	238/239×1 244 160	±20	1 238 954,310
OPU1	2 488 320	±20	2 488 320
OPU2	238/237 × 9 953 280	±20	9 995 276,962
OPU3	238/236 × 39 813 120	±20	40 150 519,322
OPU4	238/227 × 99 532 800	±20	104 355 975,330
OPUCn	n × 238/226 × 99532 800	±20	n × 104 817 727,434
OPU2e	238/237 × 10 312 500	±100	10 356 012,658
OPUflex для CBR	Скорость сигнала клиента	±100	
OPUflex для GFP-F	238/239 × скорость сигнала ODUflex	±100	
OPU1-Xv	X × 2 488 320	±20	X × 2 488 320
OPU2-Xv	X × 238/237 × 9 953 280	±20	X × 9 995 276,962
OPU3-Xv	X × 238/236 × 39 813 120	±20	X × 40 150 519,322

Таблица 2.5

Параметры сигналов OTL

OTL	Номинальные скорости, кбит/с	Допустимое отклонение от номинальной скорости, ppm	Аппроксимация номинальных скоростей, кбит/с
OTL3.4	255/236 × 9 953 280	±20	10 754 603,390
OTL4.4	255/227 × 24 883 200	±20	27 952 493,392
OTL4.10	255/227 × 9 953 280	±20	11 180 997,357

Расчет номинальных скоростей сигналов

Для расчета номинальных скоростей сигналов принимается, что для ввода компонентных сигналов используется синхронный побитовый ввод.

Например, поле цикла **OPU1** для размещения полезной нагрузки кратно 64 байтам и равно

$$238 \times 16 \times 4 = 15232 \text{ байта.}$$

Поле цикла **ODU1** для полезной нагрузки и заголовков равно

$$239 \times 16 \times 4 = 15296 \text{ байтов.}$$

Поле цикла **OTU1** для полезной нагрузки, заголовка и размещения результатов применения **FEC** равно

$$255 \times 16 \times 4 = 16320 \text{ байтов.}$$

Результаты расчетов номинальных скоростей сигналов **OPUk**, **ODUk** и **OTUk** с применением коэффициентов, равных отношению количества шестнадцати столбцов или 64 байтов в циклах этих сигналов, приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Номинальные скорости цифровых сигналов оптической транспортной сети

Скорости компонентных сигналов, кбит/с	OPUk	Размер поля полезной нагрузки OPUk, байт	Размер поля полезной нагрузки для побитового синхронного ввода сигналов, байт	Номинальные скорости OPUk, кбит/с
238/239 × 1 244 160	OPU0	238×16×4	238×16×4	238/239×1 244 160
2 488 320	OPU1	238×16×4	238×16×4	2 488 320
9 953 280	OPU2	238×16×4	237×16×4	238/237× 9 953 280
39 813 120	OPU3	238×16×4	236×16×4	238/236× 39 813 120
99 532 800	OPU4	238×16×4	227×16×4	238/227×99 532 800

Виды сигналов в Оптической транспортной сети, ODUk	Размеры циклов ODUk, байт	Номинальные скорости, кбит/с
ODU0	239×16×4	1 244 160
ODU1	239×16×4	239/238×2 488 320
ODU2	239×16×4	239/237×9 953 280
ODU3	239×16×4	239/236×39 813 120
ODU4	239×16×4	239/227×99 532 800

OTUk	Размеры циклов OTUk, байт	Номинальные скорости, кбит/с
OTU1	255×16×4	255/238×2 488 320
OTU2	255×16×4	255/237 × 9 953 280
OTU3	255×16×4	255/236 × 39 813 120
OTU4	255×16×4	255/227 × 99 532 800

Таблица 2.7

Длительности сверхциклов OPUk для трибутарных слотов 2.5G и 1.25G
и OPUCn для трибутарного слота 5G

Тип OPU	Длительность сверхцикла для три- бутарного слота 1.25G, мкс	Длительность сверхцикла для три- бутарного слота 2.5G, мкс	Длительность сверхцикла для три- бутарного слота 5G, мкс
OPU1	97,942	–	–
OPU2	97,531	48,765	–
OPU3	97,119	48,560	–
OPU4	93,416	–	–
OPUCn	–	–	23,251

Таблица 2.8

Скорости передачи полезной нагрузки ODTU

Тип ODTU	Номинальная ско- рость передачи ODTU	Допустимое откло- нение от номиналь- ной скорости, ppm	Примечание
ODTU01	$(1904 + 1/8) 3824 \times$ (скорость передачи ODU1)	± 20	Применяется AMP. Учитыва- ются байты NJO
ODTU12	$(952 + 1/16) 3824 \times$ (скорость передачи ODU2)	± 20	Применяется AMP. Учитыва- ются байты NJO
ODTU13	$(238 + 1/64) 3824 \times$ (скорость передачи ODU3)	± 20	Применяется AMP. Учитыва- ются байты NJO
ODTU23	$(952 + 4/64) 3824 \times$ (скорость передачи ODU3)	± 20	Применяется AMP. Учитыва- ются байты NJO
ODTU2.ts	$ts \times 476/3824 \times$ (ско- рость передачи ODU2)	± 20	Применяется GMP
ODTU3.ts	$ts \times 119/3824 \times$ (ско- рость передачи ODU3)	± 20	Применяется GMP
ODTU4.ts	$ts \times 47,5/3824 \times$ (ско- рость передачи ODU4)	± 20	Применяется GMP
ODTUCn.ts	$ts \times 190,4/3824 \times$ (скорость передачи ODUCn/n)	± 20	

Таблица 2.9

Рекомендуемые скорости **ODUflex (GFP)**

Тип ODU	Номинальная скорость передачи, кбит/с	Допустимое отклонение от номинальной скорости, ppm
ODU2.ts	1 249 177,230	
ODU3.ts	1 254 470,354	
ODU4.ts	1 301 467,133	
ODUflex(GFP) из n трибу- тарных слотов, $1 \leq n \leq 8$	$n \times \text{ODU2.ts}$	± 100
ODUflex(GFP) из n трибу- тарных слотов, $9 \leq n \leq 32$	$n \times \text{ODU3.ts}$	± 100
ODUflex(GFP) из n трибу- тарных слотов, $33 \leq n \leq 80$	$n \times \text{ODU4.ts}$	± 100

Таблица 2.10

Количество трибу-
тарных слотов **TS**, необходимых для **ODUj** в **OPUk**

ODUj	5G TS	2,5G TS		1,25G TS			
	OPUCn	OPU2	OPU3	OPU1	OPU2	OPU3	OPU4
ODU0	1		–	1	1	1	1
ODU1	1	1	1	–	2	2	2
ODU2	2		4	–	–	8	8
ODU2e	2		–	–	–	9	8
ODU3	8		–	–	–	–	31
ODUflex (CBR)							
ODUflex (IB SDR)	1		–	–	3	3	2
ODUflex (IB DDR)	1		–	–	5	4	4
ODUflex (IB QDR)	2		–	–		9	8
ODUflex (FC400)	1		–	–	4	4	4
ODUflex (FC800)	2		–	–	7	7	7
ODUflex (FC1600)	3		–	–		12	11
ODUflex (FC3200)	6		–	–		23	22
ODUflex (GFP)	–		–	–	n	n	n

Задачи

2.1. В Оптической транспортной сети необходимо организовать передачу заданных сигналов клиентов. Для отображения могут быть использованы оптические блоки полезной нагрузки вида k.

Привести схему структуры мультиплексирования и отображения для формирования **OTU_k[V]**.

Для всех сигналов в структуре мультиплексирования:

- 1) указать длительности и размеры циклов сигналов;
- 2) рассчитать скорости передачи в кбит/с с точностью до трех знаков после запятой;
- 3) сравнить полученные значения со значениями, приведенными в таблицах данного раздела.

Номер варианта	Сигнал клиента	OPU _k	OTU _k [V]
01	CBR 2G5	OPU1	OTU1[V]
02	STM-16	OPU1	OTU1[V]
03	10G Ethernet	OPU1-4v	4 OTU1[V]
04	40G Ethernet	OPU1-16v	16 OTU1[V]
05	IB SDR	OPU1	OTU1[V]
06	IB DDR	OPU1-2v	2 OTU1[V]
07	2G FC	OPU1	OTU1[V]
08	1,5 SDI	OPU1	OTU1[V]
09	CBR 10G	OPU2	OTU2[V]
10	STM-64	OPU2	OTU2[V]
11	STM-256	OPU2-4v	4 OTU2[V]
12	10G Ethernet	OPU2	OTU2[V]
13	40G Ethernet	OPU2-4v	4 OTU2[V]
14	100G Ethernet	OPU2-10v	10 OTU2[V]
15	IB QDR	OPU2	OTU2[V]
16	IB FDR	OPU2e	OTU2[V]
17	CBR 40G	OPU3	OTU3[V]
18	STM-256	OPU3	OTU3[V]
19	CBR 100G	OPU4	OTU4[V]
20	100G Ethernet	OPU4	OTU4[V]

2.2. В Оптической транспортной сети необходимо организовать тракты **ODU_j**. Для отображения сигналов **ODU_j** могут быть использованы оптические блоки полезной нагрузки вида **OPU_k**. Для этого выполнить следующие действия:

- 1) привести схему структуры мультиплексирования и отображения для формирования **OTU_k[V]**;
- 2) указать длительности и размеры циклов сигналов;
- 3) рассчитать скорости передачи в кбит/с с точностью до трех знаков после запятой;

4) сравнить полученные значения со значениями, приведенными в таблицах данного раздела.

Номер варианта	Сигнал ODU _j	OPU _k	OTU _k [V]
01	ODU0	OPU1	OTU1[V]
02	ODU0	OPU2	OTU2[V]
03	ODU1	OPU2	OTU2[V]
04	ODU0	OPU3	OTU3[V]
05	ODU1	OPU3	OTU3[V]
06	ODU2	OPU3	OTU3[V]
07	ODU0	OPU4	OTU4[V]
08	ODU1	OPU4	OTU4[V]
09	ODU2	OPU4	OTU4[V]
10	ODU3	OPU4	OTU4[V]
11	ODU0	OPUC _n	OTUC _n
12	ODU1	OPUC _n	OTUC _n
13	ODU2	OPUC _n	OTUC _n
14	ODU3	OPUC _n	OTUC _n
15	ODU4	OPUC _n	OTUC _n

2.3. Для передачи заданных сигналов клиентов применяются тракты **ODUflex**. Для отображения сигналов **ODUflex** в **OPUk** применяются структуры с трибутарными слотами.

Определить количество трибутарных слотов.

Номер варианта	Сигнал	1,25G TS	2,5G TS	5,0G TS
01	IB SDR	OPU2		
02	IB SDR	OPU3	OPU3	
03	IB SDR	OPU4	OPU4	
04	IB DDR	OPU2	OPU2	
05	IB DDR	OPU3	OPU3	
06	IB DDR	OPU4	OPU4	
07	IB QDR	OPU3	OPU3	
08	IB QDR	OPU4	OPU4	
09	4G FC	OPU2	OPU2	
10	4G FC	OPU3	OPU3	
11	4G FC	OPU4	OPU4	
12	8G FC	OPU2	OPU2	
13	8G FC	OPU3	OPU3	
14	8G FC	OPU4	OPU4	
15	16G FC	OPU3	OPU3	
16	16G FC	OPU4	OPU4	
17	16G FC			OPUC _n
18	32G FC	OPU3	OPU3	
19	32G FC	OPU4	OPU4	
20	32G FC			OPUC _n

2.4. В Оптической транспортной сети необходимо организовать передачу сигналов **ODUflex**. Для отображения могут быть использованы оптические блоки полезной нагрузки вида **OPUk**. Применяются трибуutarные слоты **1,25G**. Для этого выполнить следующие действия:

- 1) привести схему структуры мультиплексирования и отображения для формирования **OTUk[V]**;
- 2) указать длительности и размеры циклов сигналов;
- 3) рассчитать скорости передачи в кбит/с с точностью до трех знаков после запятой;
- 4) сравнить полученные значения со значениями, приведенными в таблицах данного раздела.

Номер варианта	Сигнал	OPUk	OTUk[V]
01	ODUflex	OPU2	OTU2[V]
02	ODUflex	OPU2	OTU2[V]
03	ODUflex	OPU2	OTU2[V]
04	ODUflex	OPU3	OTU3[V]
05	ODUflex	OPU3	OTU3[V]
06	ODUflex	OPU3	OTU3[V]
07	ODUflex	OPU4	OTU4[V]
08	ODUflex	OPU4	OTU4[V]
09	ODUflex	OPU4	OTU4[V]
10	ODUflex	OPU4	OTU4[V]
11	ODUflex	OPUCn	OTUCn
12	ODUflex	OPUCn	OTUCn
13	ODUflex	OPUCn	OTUCn
14	ODUflex	OPUCn	OTUCn
15	ODUflex	OPUCn	OTUCn

3. ФУНКЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

3.1. Функции адаптации

В Оптической транспортной сети для записи сигналов клиентов в серверы применяются функции адаптации, в которых реализованы одна из процедур асинхронная, бит-синхронная или основная процедуры отображения:

AMP (Asynchronous Mapping Procedure) – асинхронная процедура отображения,

BMP (Bit-synchronous Mapping Procedure) – бит-синхронная процедура отображения,

GMP (Generic Mapping Procedure) – основная процедура отображения.

Асинхронная процедура отображения

Для реализации асинхронной процедуры отображения используется **цифровое выравнивание с управляемыми вставками**.

Цифровое выравнивание или цифровая коррекция с управляемыми вставками была впервые реализована в мультиплексорах сетей Плеззиохронной цифровой иерархии **PDH**, а затем и в мультиплексорах сетей Синхронной цифровой иерархии **SDH** для записи асинхронных сигналов клиентов, как сплошных потоков данных, в серверы. В сетях **SDH** для записи сигналов клиентов с цикловой структурой в серверы используется цифровая коррекция с указателями.

Цифровое выравнивание со вставками и цифровое выравнивание с указателями относятся к кодированию скорости цифровых сигналов. Основными блоками кодера и декодера являются блоки эластичной памяти **ES**.

В кодере разрешение на запись в **ES** определяется тактовой частотой сигнала клиента, а разрешение на считывание – тактовой частотой сервера. Для анализа состояния **ES** применяется временной детектор. В цикле сервера предусмотрены позиции возможности отрицательной и положительной цифровой коррекции **NOJ**, **POJ**.

Допустим, скорость сигнала клиента больше скорости сигнала сервера. Сигнал клиента записывается в сервер на позиции байтов данных цикла и на позиции **POJ**. Позиции **NOJ** не заняты информацией клиента. Чтобы не произошло переполнение эластичной памяти по команде временного детектора информация клиента будет записываться также на позиции **NOJ**. Это отрицательная цифровая коррекция.

Допустим, скорость сигнала клиента меньше скорости сигнала сервера. Сигнал клиента записывается в сервер на позиции байтов данных цикла и на позиции **POJ**. Позиции **NOJ** не заняты информацией клиента. Чтобы

не произошло опустошение эластичной памяти, по команде временного детектора изменяется логика считывания, и сигнал клиента не будет записываться на позиции **POJ**. Это положительная цифровая коррекция.

Каждый раз формируется сигнал управления цифровой коррекцией **JS**.

В декодере разрешение на запись определяется тактовой частотой сервера. В эластичную память записывается только информация с учетом сигнала управления. Частота считывания формируется генератором с фазовой автоподстройкой **ФАП**. В цепь **ФАП** включен сигнал управления цифровой коррекцией.

Средняя скорость сигнала на выходе декодера будет равна средней скорости сигнала клиента на входе кодера. Прием цифрового сигнала сопровождается фазовыми дрожаниями.

Применение AMP

Асинхронная процедура отображения в Оптических транспортных сетях применяется для отображения:

в **OPU_k**, $k = 1, 2, 3$ сигналов клиентов с постоянной битовой скоростью **CBR2G5**, **CBR10G** и **CBR40G**;

в оптические трибутарные блоки данных **ODTU_{jk}** сигналов **ODU_k**.

Относительная погрешность тактовых частот сигналов клиентов не должна превышать по абсолютной величине 20 ppm.

Примерами сигналов с постоянной битовой скоростью **CBR** являются агрегатные сигналы синхронных транспортных модулей **STM-16**, **STM-64** и **STM-256**. Сигналы информационных сетей с пакетной передачей вводятся в тракты транспортных сетей с применением процедуры линеаризации трафика, например, основной процедуры создания кадров **GFP Generic Framing Procedure**.

На рис. 3.1–3.3 приведены структуры циклов оптических блоков полезной нагрузки первого, второго и третьего видов **OPU1**, **OPU2** и **OPU3** для отображения сигналов с применением асинхронной процедуры отображения.

В структурах циклов оптических блоков полезной нагрузки байты имеют следующие назначения:

D – байты для записи информации компонентных сигналов;

NJO Negative Justification Opportunity – байт возможности отрицательного цифрового выравнивания;

PJO Positive Justification Opportunity – байт возможности положительного цифрового выравнивания;

JC Justification Control – байты сигналов управления цифровым выравниванием;

FS Fixed Stuff – байты фиксированных вставок;

PSI Payload Structure Identifier – байт идентификатор структуры полезной нагрузки.

1	RES	JC	<i>D</i>		3806 <i>D</i>	<i>D</i>
2	RES	JC	<i>D</i>		3806 <i>D</i>	<i>D</i>
3	RES	JC	<i>D</i>		3806 <i>D</i>	<i>D</i>
4	PSI	NJO	PJO		3806 <i>D</i>	<i>D</i>

Рис. 3.1. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU1** для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью **CBR2G5**

	15	16	17		1904	1905	1920	1921		3824
1	RES	JC	<i>D</i>			16 FS				<i>D</i>
2	RES	JC	<i>D</i>			16 FS				<i>D</i>
3	RES	JC	<i>D</i>			16 FS				<i>D</i>
4	PSI	NJO	PJO			16 FS				<i>D</i>

Рис. 3.2. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU2** для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью **CBR10G**

	15	16	17		1264	1265	1280	1281		2544	2545	2560	2561		3824
1	RES	JC	<i>D</i>			16 FS				16 FS					<i>D</i>
2	RES	JC	<i>D</i>			16 FS				16 FS					<i>D</i>
3	RES	JC	<i>D</i>			16 FS				16 FS					<i>D</i>
4	PSI	NJO	PJO			16 FS				16 FS					<i>D</i>

Рис. 3.3. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU3** для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью **CBR40G**

В табл. 3.1–3.3 приведены параметры **OPU1**, **OPU2** и **OPU3**.

Таблица 3.1

Параметры **OPU1**

Структура сигнала управления 3 JC, 7 и 8 биты	Байт возможности отрицательного цифрового выравнивания NJO	Байт возможности положительного цифрового выравнивания PJO	Количество байтов в цикле OPU1 для отображения информации
01 01 01	инф.	инф.	15233
00 00 00	не инф.	инф.	15232
11 11 11	не инф.	не инф.	15231

Таблица 3.2

Параметры **OPU2**

Структура сигнала управления 3 JS, 7 и 8 биты	Байт возможности отрицательного цифрового выравнивания NJO	Байт возможности положительного цифрового выравнивания PJO	Количество байтов в цикле OPU2 для отображения информации
01 01 01	инф.	инф.	15169
00 00 00	не инф.	инф.	15168
11 11 11	не инф.	не инф.	15167

Таблица 3.3

Параметры **OPU3**

Структура сигнала управления 3 JS, 7 и 8 биты	Байт возможности отрицательного цифрового выравнивания NJO	Байт возможности положительного цифрового выравнивания PJO	Количество байтов в цикле OPU3 для отображения информации
01 01 01	инф.	инф.	15105
00 00 00	не инф.	инф.	15104
11 11 11	не инф.	не инф.	15103

Бит-синхронная процедура отображения

Для отображения синхронных сигналов используется синхронный побитовый ввод или бит-синхронная процедура отображения **ВМР**.

Группы из восьми последовательных битов компонентного сигнала не обязательно одного байта записываются в байты данных поля полезной нагрузки.

Применение ВМР

На рис. 3.4–3.7 приведены структуры циклов сигналов при использовании бит-синхронной процедуры отображения. На рис. 3.4 при использовании бит-синхронного отображения в байты **NJO** и **PJO** будет также записываться информация компонентного сигнала. В байты **JS** записываются «нулевые» символы.

	15	16	17		1904 1905	1920 1921		3824
1	RES	JC	D		16 FS			D
2	RES	JC	D		16 FS			D
3	RES	JC	D		16 FS			D
4	PSI	NJO	PJO		16 FS			D

Рис. 3.4. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU2e** для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью **CBR10G3**

	15	16	17					3824
1	RES	RES			D			
2	RES	RES			D			
3	RES	RES			D			
4	PSI	RES			D			

Рис. 3.5. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPUk** для отображения пакетов сигналов клиента с **GFP**
(пакеты **GFP** – для передачи информации: заголовок 4 байта и информация клиента от 4 байтов до 65535 байтов, пустые пакеты – 4 байта)

	15	16	17	...	3824
1	<i>D</i>	<i>D</i>		<i>D</i>	
2	<i>D</i>	<i>D</i>		<i>D</i>	
3	<i>D</i>	<i>D</i>		<i>D</i>	
4	PSI	<i>D</i>		<i>D</i>	

Рис. 3.6. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU2e** для отображения пакетов сигналов клиента с **GFP** в расширенную область полезной нагрузки

	15	16	17	...	3824
1	RES	JC	<i>D</i>		<i>D</i>
2	RES	JC	<i>D</i>		<i>D</i>
3	RES	JC	<i>D</i>		<i>D</i>
4	PSI	NJO	PJO		<i>D</i>

Рис. 3.7. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPUflex** для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью выше 2,488 Гбит/с.
Байты JC =00, NJO=FS, PJO=D

Основная процедура отображения

Основная процедура отображения **GMP Generic mapping procedure** применяется для ввода компонентных сигналов, сформированных генераторами тактовых частот с относительной погрешностью по абсолютной величине более 20 ppm [Rec. ITU-T G.709/Y.1331(06/2016)].

В функцию адаптации в слое сервера поступает сигнал клиента как сплошной поток данных, и записывается в поле полезной нагрузки сервера, которое имеет определенную структуру на интервале длительности цикла.

Количество n битовых объектов данных клиента, поступающих в течение длительности цикла сервера для записи в поле полезной нагрузки C_n , равно

$$C_n = \left(\frac{F_{client}}{n} \times T_{server} \right),$$

где F_{client} – битовая скорость сигнала клиента;
 T_{server} – длительность цикла сервера;
 n – количество битов в одном объекте.

Но в поле полезной нагрузки сервера может быть записано только $C_n(t)$ – целое количество n битовых объектов данных клиента, поступающих в течение длительности цикла сервера для записи в поле полезной нагрузки

$$C_n(t) = \text{int} \left(\frac{F_{client}}{n} \times T_{server} \right).$$

Значение C_n может находиться между целыми значениями

$$C_n(t) = \text{floor} \left(\frac{F_{client}}{n} \times T_{server} \right) \quad \text{и}$$

$$C_n(t) = \text{ceiling} \left(\frac{F_{client}}{n} \times T_{server} \right) = 1 + \text{floor} \left(\frac{F_{client}}{n} \times T_{server} \right).$$

Длительность цикла сервера равна

$$T_{server} = \frac{B_{server}}{F_{server}},$$

где F_{server} – битовая скорость сигнала сервера;
 B_{server} – количество битов в цикле сервера.

Тогда

$$C_n = \left(\frac{F_{client}}{F_{server}} \times \frac{B_{server}}{n} \right);$$

$$Cn(t) = \text{int} \left(\frac{F_{client}}{F_{server}} \times \frac{B_{server}}{n} \right).$$

В поле полезной нагрузки сервера может быть записано целое количество n битовых объектов клиента, которое равно или меньше количества n битовых объектов сервера

$$Cn(t) \leq P_{server}$$

$$F_{client} \leq F_{server} \times \frac{P_{server}}{B_{server}} \times n,$$

где P_{server} – максимальное количество n битовых объектов данных сервера в поле полезной нагрузки одного цикла для записи сигнала клиента.

Для отображения сигнала клиента применяется цифровая коррекция со вставками. Запись сигнала клиента в поле полезной нагрузки сервера определяется алгоритмом, который приведен ниже.

Для $j (j = 1 \dots P_{server})$

при условии

$$\text{if } (j \times Cn(t)) \bmod P_{server} < Cn(t)$$

на позиции поля полезной нагрузки сервера записываются данные клиента **D**;

при условии

$$\text{if } (j \times Cn(t)) \bmod P_{server} \geq Cn(t)$$

на позиции поля полезной нагрузки не записываются данные клиента, и позиции получают название вставок **S**.

Таким образом, для реализации **GMP**:

- на передаче сигнал клиента записывается в буфер;
- на интервале длительности цикла сервера определяется целое количество n битовых объектов клиента $Cn(t)$;
- затем сигнал клиента записывается в поле полезной нагрузки сервера;
- значение $Cn(t)$ кодируется двоичным кодом и передается в заголовке сигнала сервера в байтах сигнала управления цифровой коррекцией. В управлении цифровой коррекцией предусмотрен алгоритм изменения значения $Cn(t)$;
- на приеме сигнал сервера на интервале длительности цикла записывается в буфер, записываются только информационные символы;
- затем сигнал клиента считывается в соответствии со значением $Cn(t)$.

Если для записи сигнала клиента применяются битовые объекты с числом битов 8, 16, 64, 128, 640, то, при условии, что сигнал клиента это сплошной поток данных, необходима передача целого количества битовых символов остатка сигнала клиента $CnD(t)$.

Применение GMP

В Оптической транспортной сети основная процедура отображения используется для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью в **OPUk, ODTUk.ts, ODTUCn.ts**.

По умолчанию в Оптических транспортных сетях поддерживается байтовая синхронизация

$$n=8,$$

но возможна и битовая синхронизация, тогда

$$n=1.$$

Кроме того применяется и синхронизация по M байтам:

$$m=8 \times M \text{ битам (Timing granularity).}$$

Количество m битовых объектов сигнала клиента может быть определено по формуле

$$Cm = \left(\frac{n \times Cn}{m} \right) = \left(\frac{Fclient}{Fserver} \times \frac{Bserver}{m} \right) = \left(\frac{Fclient}{Fserver} \times \frac{Bserver}{8 \times M} \right) = \left(\frac{Fclient}{Fserver} \times \frac{Bserver/8}{M} \right).$$

Целое число m битовых объектов сигнала клиента будет равно

$$Cm(t) = \text{int} \left(\frac{Fclient}{Fserver} \times \frac{Bserver/8}{M} \right).$$

Для записи в поле полезной нагрузки сервера целое количество m битовых объектов клиента равно или меньше количества m битовых объектов сервера

$$Cm(t) \leq Pm, server ,$$

где $Pm, server$ – максимальное количество m битовых объектов данных сервера в поле полезной нагрузки одного цикла для записи сигнала клиента.

Остаток сигнала клиента CnD рассчитывается по формуле

$$CnD = Cn - \left(\frac{8 \times M}{n} \times Cm(t) \right),$$

Целое число битовых символов остатка сигнала клиента будет равно

$$CnD(t) = Cn(t) - \left(\frac{8 \times M}{n} \times Cm(t) \right)$$

и принадлежит значениям

$$CnD(t) \in \left[0; \frac{8 \times M}{n} \right).$$

Запись сигнала клиента в поле полезной нагрузки сервера определяется алгоритмом, который приведен ниже.

Для $j(j = 1 \dots Pm, server)$

при условии

$$if (j \times Cm(t)) \bmod Pm, server < Cm(t)$$

на позиции поля полезной нагрузки сервера записываются данные клиента **D**;

при условии

$$if (j \times Cm(t)) \bmod Pm, server \geq Cm(t)$$

на позиции поля полезной нагрузки не записываются данные клиента, и позиции получают название вставки **S**.

В табл. 3.4 приведены значения параметров **GMP**.

Таблица 3.4

Значения параметров GMP

Параметры GMP	CBR → OPUk	ODUj → OPUk (ODTUK.ts)	ODUk → OPUCn (ODTUCn.ts)
n	8 (по умолчанию) 1(для специфических сигналов клиента)	8	8
m	$m=8 \times M$ OPU0: $8 \times 1 = 8$ OPU1: $8 \times 2 = 16$ OPU2: $8 \times 8 = 64$ OPU3: $8 \times 32 = 256$ OPU4: $8 \times 80 = 640$	$m=8 \times M$ ODTU2.ts: $8 \times ts$ ODTU3.ts: $8 \times ts$ ODTU4.ts: $8 \times ts$	$m=128 \times M$ ODTUCn.ts: $128 \times ts$
F_{client}	Скорость сигнала клиента CBR и допуски на скорость	Скорость ODUj и допуски на скорость (табл. 2.3)	Скорость ODUk и допуски на скорость (табл. 2.3)
F_{server}	Скорость полезной нагрузки OPUk и допуски на скорость (табл. 2.4)	Скорость полезной нагрузки ODTUK.ts и допуски на скорость (табл. 2.8)	Скорость полезной нагрузки ODTUCn.ts и допуски на скорость (табл. 2.8)
T_{server}	Длительности циклов ODUk/OPUk (табл. 2.1)	Длительность сверхцикла OPUk (табл. 2.7)	Длительность сверхцикла OPUCn (табл. 2.7)
B_{server}	OPU0: 8×15232 OPU1: 8×15232 OPU2: 8×15232 OPU3: 8×15232 OPU4: 8×15200	ODTU2.ts: $8 \times ts = 15232$ ODTU3.ts: $8 \times ts = 15232$ ODTU4.ts: $8 \times ts = 15200$	ODTUCn.ts: $128 \times ts = 952$
$P_{m,server}$	OPU0: 15232 OPU1: 7616 OPU2: 1904 OPU3: 476 OPU4: 190	ODTU2.ts: 15232 ODTU3.ts: 15232 ODTU4.ts: 15200	ODTUCn.ts: 952
$CnD(t)$	OPU0: не применим OPU1: от 0 до +1 OPU2: от 0 до +7 OPU3: от 0 до +31 OPU4: от 0 до +79	ODTUK1: не применим ODTUK2: от 0 до +1 ODTUK3: от 0 до +2 ODTUK4: от 0 до +3 ODTUK8: от 0 до +7 ODTUK32: от 0 до +31 ODTUK79: от 0 до +78 ODTUK80: от 0 до +79	ODTUCn.1: от 0 до +15 ODTUCn.2: от 0 до +31 ODTUCn.3: от 0 до +47 ODTUCn.4: от 0 до +59 ODTUCn.20n-1: от 0 до +320n-1 ODTUCn.20n: от 0 до +320n
$CnD(t)$ (for selected clients)	OPU0: от 0 до + 7 OPU1: от 0 до + 15 OPU2: от 0 до + 63 OPU3: от 0 до +255 OPU4: от 0 до +639	Не применим	Не применим

На рис. 3.8–3.10 приведены структуры циклов некоторых оптических блоков полезной нагрузки.

	15	16	17	18								3824
1	JC4	JC1	1	2								3808
2	JC5	JC2	3809	3810								7616
3	JC6	JC3	7617	7618								11424
4	PSI	RES	11425	11426								15232

Рис. 3.8. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU0** для отображения сигналов клиента со скоростью не выше 1,238 Гбит/с

	15	16	17		24	25		32				3817	3824
1	JC4	JC1	1		1	2		2				476	476
2	JC5	JC2	477		477	478		478				952	952
3	JC6	JC3	953		953	954		954				1428	1428
4	PSI	RES	1429		1429	1430		1430				1904	1904

Рис. 3.9. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU2** для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью

	15	16	17		56	57		96	97			3776	3816	3817	3824
1	JC4	JC1	1		1	1		1	2			48	48	Фиксированные вставки	
2	JC5	JC2	48		48	49		49	49			95	95		
3	JC6	JC3	96		96	96		96	97			143	143		
4	PSI	RES	143		143	144		144	144			190	190		

Рис. 3.10. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU4** для отображения сигналов клиента с постоянной битовой скоростью

Таблица 3.5

Назначение байтов заголовков Оптических блоков полезной нагрузки

JC 1 – JC6	Justification Control	Управление цифровой коррекцией
PSI	Payload Structure Identifier	Идентификатор структуры полезной нагрузки
RES	Reserved for future international standardization	Резерв

Назначение битов сигналов управления цифровой коррекцией **JC1–JC6** приведено в табл. 3.6 и 3.8.

В табл. 3.6 показано размещение количества n битовых объектов данных клиента, поступающих в течение длительности цикла сервера для записи в поле полезной нагрузки $Cn(t)$.

В табл. 3.7 показан алгоритм изменения этого значения.

Таблица 3.6

Назначение битов сигналов управления цифровой коррекцией

	1	2	3	4	5	6	7	8
JC1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
JC2	C9	C10	C11	C12	C13	C14	II	DI
JC3	CRC8							

Таблица 3.7

Алгоритм изменения количества n битовых объектов данных клиента, поступающих в течение длительности цикла сервера для записи в поле полезной нагрузки

II – Increment Indicator

DI – Decrement Indicator

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	II	DI	Изменение
U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	0	0	0
I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	1	0	+1
U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	0	1	-1
U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	1	0	+2
I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	0	1	-2

В таблице 3.8 показано размещение целого числа битовых символов остатка сигнала клиента.

Размещение целого числа битовых символов остатка клиента

 $CnD(t)$

	1	2	3	4	5	6	7	8
JC4	RES	RES	RES	C1D	C2D	C3D	C4D	C5D
JC5	RES	RES	RES	C6D	C7D	C8D	C9D	C10D
JC6	RES	RES	RES	CRC-5				

Оптические трибутарные блоки данных

Для отображения оптических блоков данных в структуры оптических трибутарных блоков данных применяются:

асинхронная процедура отображения **AMP** и
основная процедура отображения **GMP**.

AMP применяется для отображения компонентных сигналов в оптические трибутарные блоки данных вида **ODTUjk**:

ODTU01, ODTU12, ODTU13 и ODTU23.

GMP применяется для отображения в оптические трибутарные блоки данных вида **ODTUK.ts**:

ODTU(2, 1...8), ODTU(3, 1...32), ODTU(4, 1...80).

В табл. 3.9 приведены параметры циклов, а на рис. 3.11 и 3.12 – структуры циклов оптических трибутарных блоков данных **ODTUjk** и **ODTUK.ts**.

Таблица 3.9

Параметры циклов **ODTUjk** для трибутарных слотов 2.5G и 1.25G

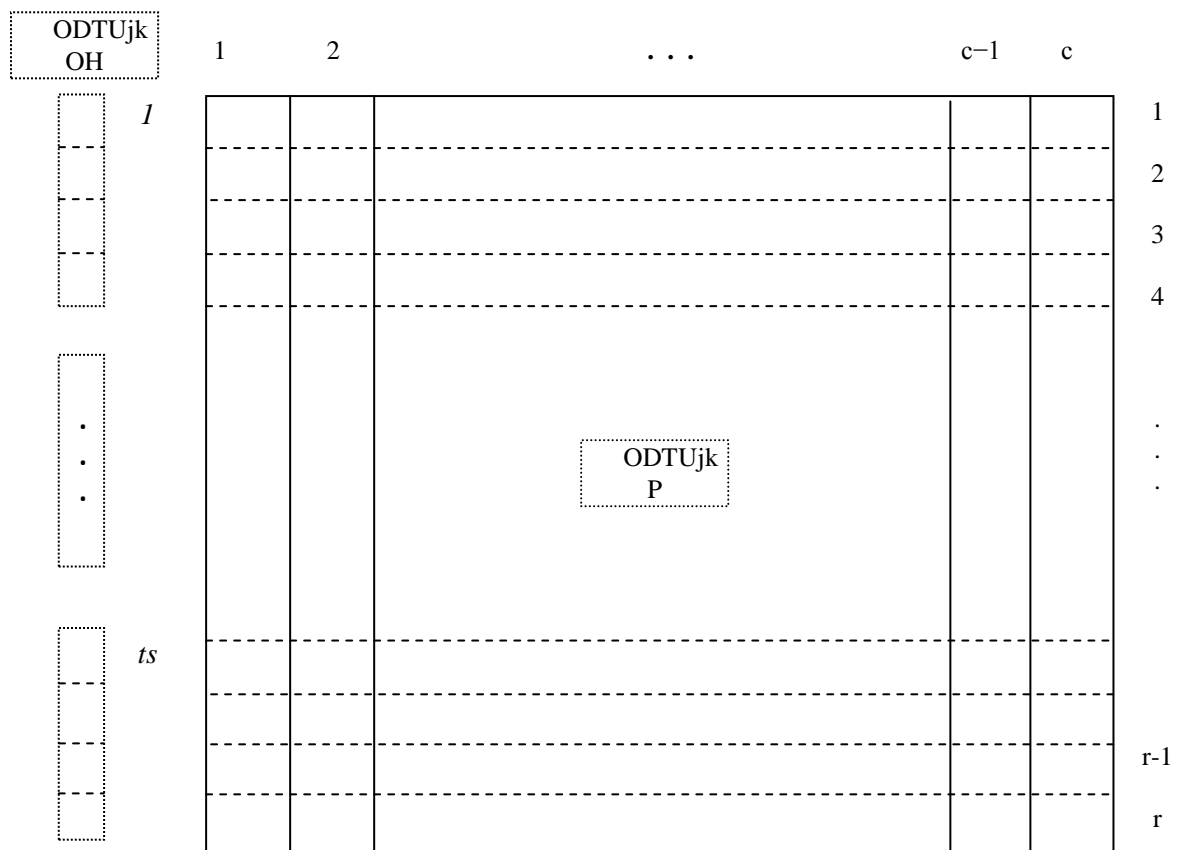
2.5G TS	c	r	ts	Полезная нагрузка ODTUjk, байты	Заголовок ODTUjk, байты
ODTU12	952	16	1	15232	1 × 4
ODTU13	238	64	1	15232	1 × 4
ODTU23	952	64	4	60928	4 × 4

1.25G TS	c	r	ts	Полезная нагрузка ODTUjk, байты	Заголовок ODTUjk, байты
ODTU01	1904	8	1	15232	1 × 4
ODTU12	952	32	2	30464	2 × 4
ODTU13	238	128	2	30464	2 × 4
ODTU23	952	128	8	121856	8 × 4

Таблица 3.10

Параметры циклов **ODTuk.ts**

	j	r	ts	Полезная нагрузка ODTuk.ts, байты	Заголовок ODTuk.ts, байты
ODTU2.ts	476	32	от 1 до 8	15232 × ts	1 × 6
ODTU3.ts	119	128	от 1 до 32	15232 × ts	1 × 6
ODTU4.ts	95	160	от 1 до 80	15200 × ts	1 × 6



jk=01,12,13,23

Рис. 3.11. Структуры циклов ODTUjk

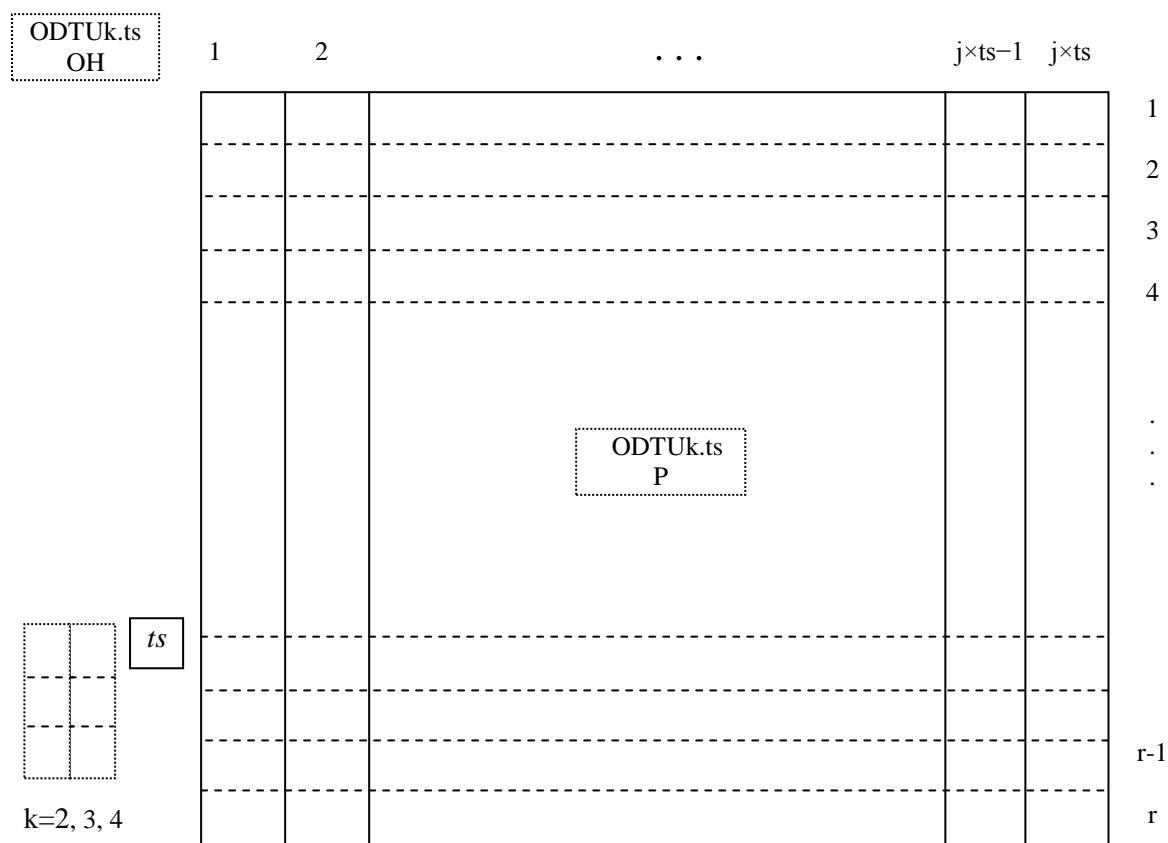


Рис. 3.12. Структуры циклов $ODTU_{k,ts}$

Для формирования сигнала $ODTU_{jk}$ используется асинхронная процедура отображения, а для $ODTU_{k,ts}$ основная процедура отображения. Каждый из этих сигналов состоит из трибутарных слотов, которые включают полезную нагрузку и заголовки (рис. 3.11 и 3.12). Количество байтов для размещения заголовков зависит от процедуры отображения. При **AMP** каждый трибутарный слот имеет заголовок. При **GMP** формируется один заголовок на все трибутарные слоты на интервале длительности цикла.

Сигналы $ODTU_{jk}$ и $ODTU_{k,ts}$ мультиплексируются в группы оптических трибутарных блоков данных **ODTUG**. Сигналы групп оптических трибутарных блоков данных с применением процедуры байт-синхронного отображения записываются в оптические блоки полезной нагрузки **OPU_k**.

На рис. 3.13 приведена структура цикла сигнала **OPU₁** для размещения двух трибутарных слотов **1.25G TS₁** и **1.25G TS₂**, на рис. 3.14 – структура цикла сигнала **OPU₂** для размещения восьми трибутарных слотов **1.25G TS₁–1.25G TS₈** или четырех трибутарных слотов **2.5 G TS**, на

рис. 3.15 – структура цикла сигнала **OPU4** для размещения восьмидесяти трибутарных слотов **1.25G TS1–1.25G TS80**.

Для размещения заголовков трибутарного слота используются байты столбцов 15 и 16.

Если в трибутарные слоты записываются сигналы **ODTU_{jk}**, то заголовки формируются для каждого **TS** и размещаются в четырех байтах столбца 16 цикла **OPU_k**. Из них три байта столбца применяются для сигнала управления цифровой коррекцией, а байт в четвертой строке столбца 16 – для сигнала возможности отрицательного цифровой коррекции.

Если же в трибутарные слоты записываются сигналы **ODTU_{k.ts}**, то заголовков формируется только один на все трибутарные слоты в цикле. Шесть байтов заголовка размещаются в столбцах 15 и 16.

При мультилексировании трибутарных слотов для синхронизации применяется **MFAS**. Пример применения показан в табл. 3. 11 и 3. 12.

Для синхронизации при формировании **OPU4** применяется **OMFI** – **OPU Multi-Frame Identifier**. Размещение байта **OMFI** показано на рис. 3.15, пример применения в табл. 3.13.

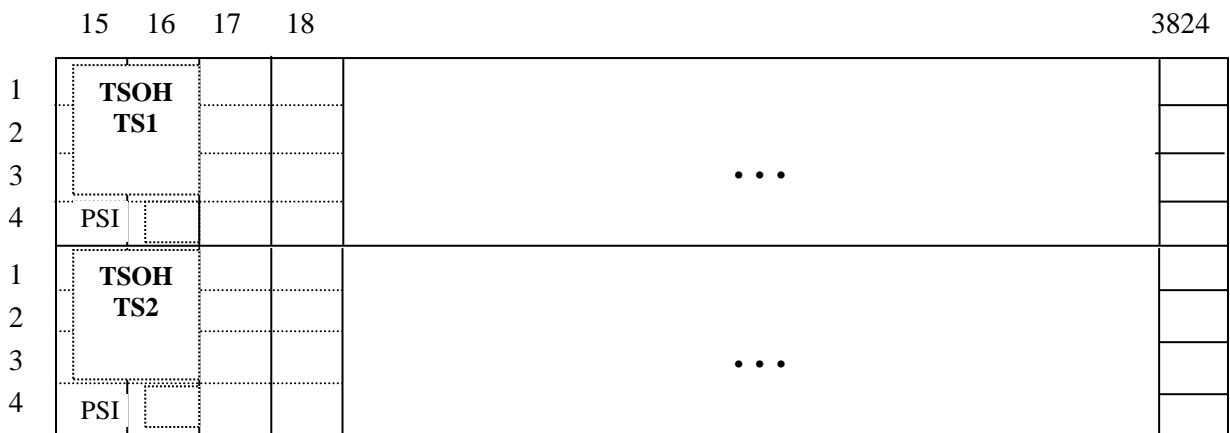


Рис. 3.13. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки OPU1 для размещения двух трибутарных слотов 1.25G TS1 и 1.25G TS2

Таблица 3.11

Размещение заголовков **TSOH** двух трибутарных слотов 1.25G TS1 и 1.25G TS2
в **OPU1**

MFAS b8	TSOH 1.25G TS
0	1
1	2

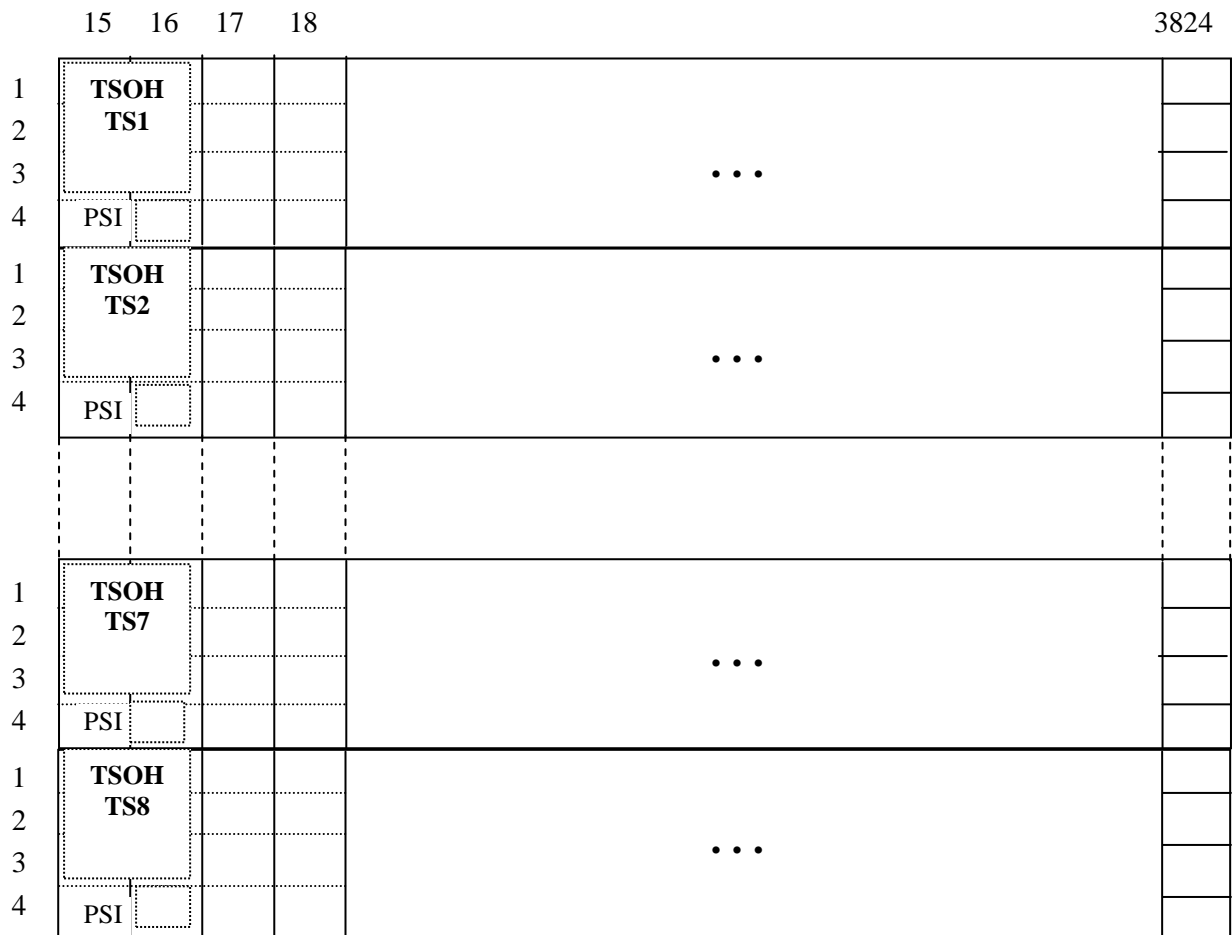


Рис. 3.14. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU2**
для размещения восьми трибутарных слотов 1.25G TS1 – TS8 или
четырех трибутарных слотов 2.5G TS:

- 1.25G TS1 и 1.25G TS5;
- 1.25G TS2 и 1.25G TS6;
- 1.25G TS3 и 1.25G TS7;
- 1.25G TS4 и 1.25G TS8

Таблица 3.12.

Размещение заголовков трибутарных слотов в **OPU2**

MFAS b7, b8	TSOH 2.5G TS
00	1
01	2
10	3
11	4

MFAS b6, b7, b8	TSOH 1.25G TS
000	1
001	2
010	3
011	4
100	5
101	6
110	7
111	8

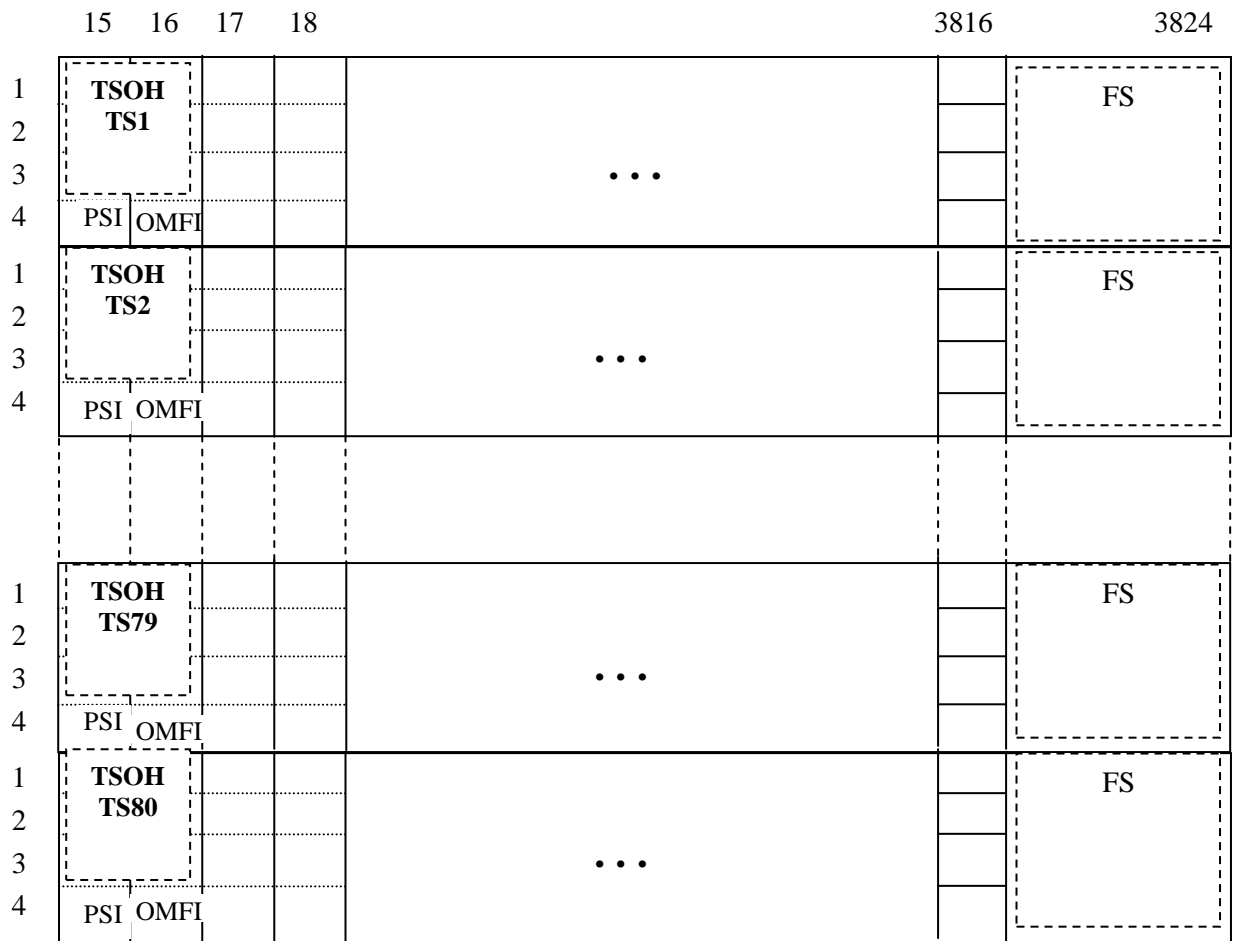


Рис. 3.15. Структура цикла сигнала оптического блока полезной нагрузки **OPU4** для размещения восьмидесяти трибутарных слотов 1.25G TS1–TS80.
OMFI – OPU Multi Frame Identifier.

Таблица 3.13

Размещение заголовков трибутарных слотов в **OPU4**

OMFI b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8	TSOH 1.25G TS
0000000	01
0000001	02
•	•
•	•
•	•
1001110	79
1001111	80

3.2. Функции завершения трейла

Функции завершения трейла в каждом сетевом слое включают процедуры заполнения в источнике и интерпретации в стоке байтов заголовков.

Результаты интерпретации байтов заголовков поступают в сеть управления.

На рис. 3.16 приведена структура цикла и заголовок оптического транспортного блока **OTU_k**, k=1, 2, 3, 4.

В первой строке цикла на шести байтах передается сигнал цикловой синхронизации **FAS**. Структура байтов сигнала цикловой синхронизации (OA1, OA1, OA1, OA2, OA2, OA2) такая же, как и для сигнала транспортной сети синхронной цифровой иерархии вида **STM-1**(A1 A1 A1 A2 A2 A2).

Седьмой байт используется для сигнала сверхцикловой синхронизации **MFAS**.

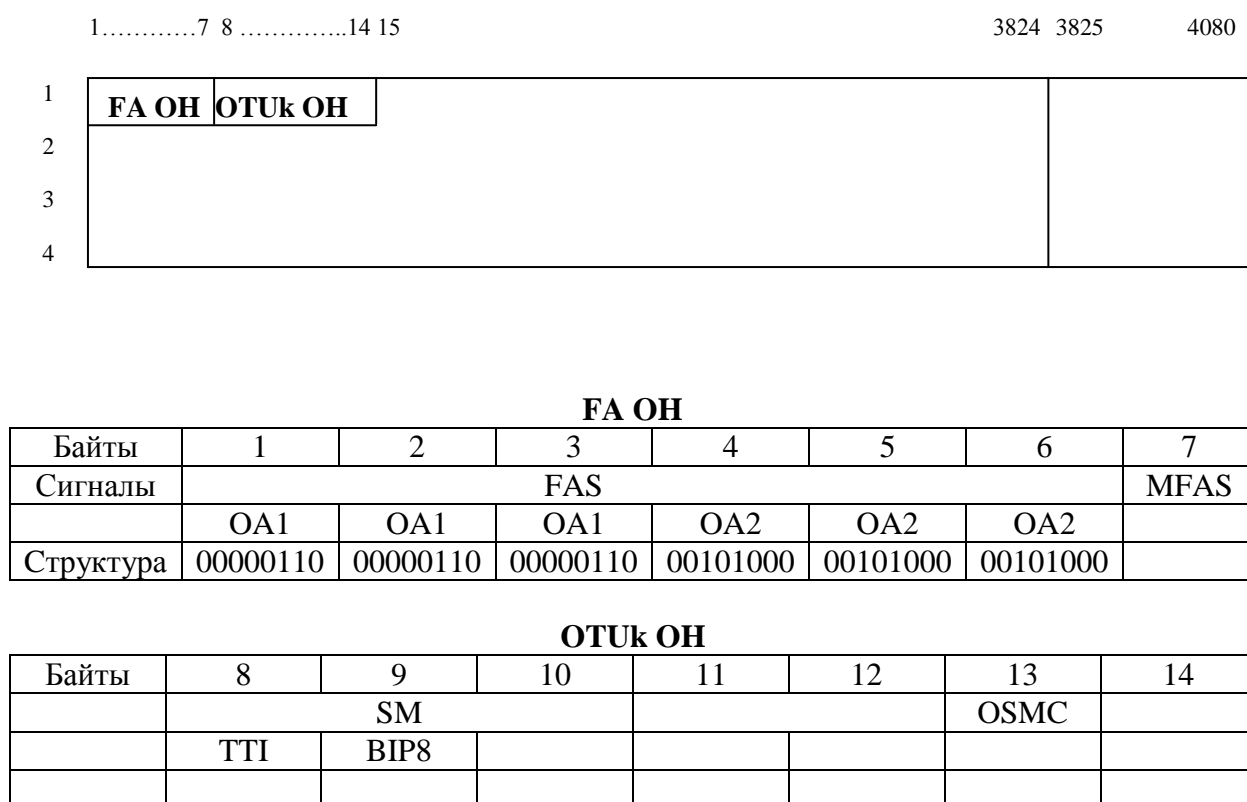


Рис. 3.16. Структура цикла и заголовок **OTU_k**:

FA Frame Alignment;

SM Section Monitoring;

TTI Trail Trace Identifier– Идентификатор трассы трейла;

BIP8 Bit Interleaved Parity – Битовый чередуемый паритет;

OSMC OTN synchronization messaging channel

Примечание. Размер блока для контроля качества передачи без перерыва связи с применением процедуры ВР8 в сетевом слое **OTUk** равен $3810 \times 4 \times 8$ битов.

На рис. 3.17 показана структура цикла и заголовки **ODUk** и **OPUk** $k=1, 2, 3, 4$.

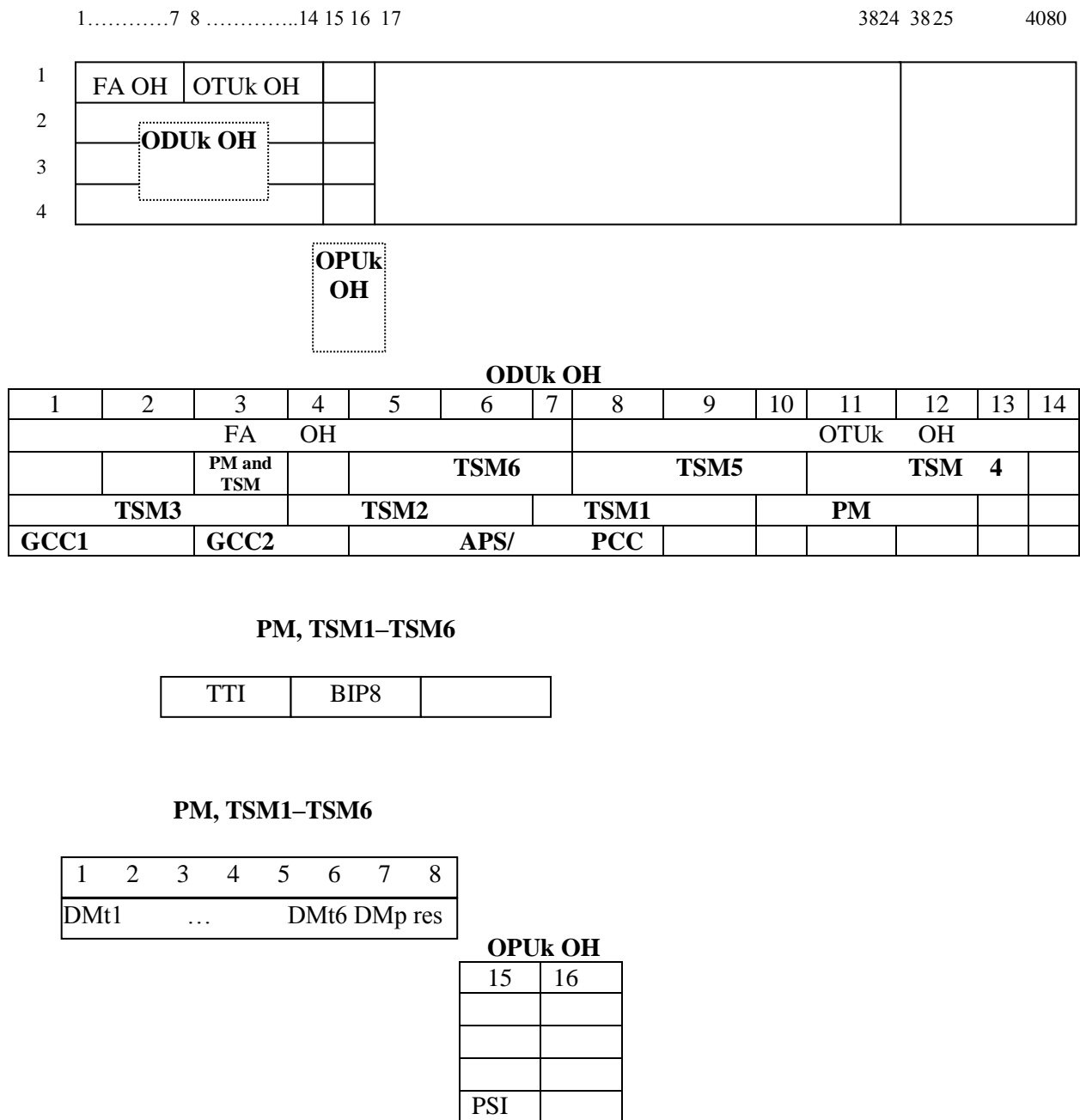


Рис. 3.17. Структура цикла **ODUk**, заголовки **ODUk** и **OPUk**:

- PM** Path Monitoring;
- TSMi** Tandem Connection Monitoring; $i=1-6$;
- TTI** Trail Trace Identifier;
- BIP8**;
- DMtp** Delay Measurement of ODUk path;
- DMti** Delay Measurement of TSMi, $i=1-6$;
- GCC1, GCC2**, General Communication Channel;
- APS/PCC** Automatic Protection Switching/Protection Communication Channel
- PSI** Payload Structure Identifier

1. Размер блока для контроля качества передачи без перерыва связи с применением процедуры **VP8** в сетевом слое **ODUk** равен $3810 \times 4 \times 8$ битов.

2. Байты заголовка **OPUk** используются при отображении сигналов клиентов с применением процедур **AMP** и **GMP** и при организации конкатенированных трактов.

Подробное перечисление служебных сигналов, а также алгоритмы заполнения и интерпретации байтов заголовков приведены в [Rec. ITU-T G.709/Y.1331 (06/2016)].

Задачи

3.1. Для передачи сигналов **STM-N** в Оптической транспортной сети применяется асинхронная процедура отображения **AMP**.

Рассчитать пропускную способность трактов **ODUk**, скорость передачи сигналов **ODUk** и скорость передачи сигналов секций **OTUk**.

Номер варианта	Клиент	Сервер	Байт NOJ	Байт POJ
1	STM16	OPU1	инф.	инф.
2	STM16	OPU1	не инф.	инф.
3	STM16	OPU1	не инф.	не инф.
4	STM64	OPU2	инф.	инф.
5	STM64	OPU2	не инф.	инф.
6	STM64	OPU2	не инф.	не инф.
7	STM256	OPU3	инф.	инф.
8	STM256	OPU3	не инф.	инф.
9	STM256	OPU3	не инф.	не инф.
10	STM16	OPU1	инф.	инф.

3.2. Для передачи перечисленных ниже сигналов информационных сетей по трактам Оптической транспортной сети применяется Бит-синхронная процедура отображения **BMP**.

Рассчитать пропускную способность трактов **ODUk**, скорость передачи сигналов трактов **ODUk** и скорость передачи сигналов секций **OTUk**.

Номер варианта	Клиент	Процедура линейаризации трафика	Сервер
1	CBR10G3	–	OPU2e
2	1G Ethernet	GFP	OPU0
3	1,5G SDI	–	OPU1
4	10G Ethernet	GFP	OPU2
5	40G Ethernet	GFP	OPU3
6	100G Ethernet	GFP	OPU4
7	40G Ethernet	GFP	OPU3
8	10G Ethernet	GFP	OPU2
9	1,5G SDI	–	OPU1
10	CBR10G3	–	OPU2e

3.3. Для передачи сигналов по трактам Оптической транспортной сети применяется бит-синхронная процедура отображения **BMP**.

Рассчитать для заданных сигналов клиентов длительности циклов сигналов **OPUflex/ODUflex** в микросекундах с точностью трех знаков после запятой.

Определить скорость передачи сигнала **OPUflex**.

Рассчитать скорость передачи сигнала **ODUflex** в кбит/ с точностью трех знаков после запятой.

Номер варианта	Клиент Приложение 2	Скорость передачи, Гбит/с	Сервер
1	4G FC	4,25	OPUflex
2	8G FC	8,5	OPUflex
3	16G FC	14,025	OPUflex
4	32G FC	28,05	OPUflex
5	128G FC	4 × 28,05	OPUflex
6	IB SDR	2,5	OPUflex
7	IB DDR	5,0	OPUflex
8	IB EDR	25,7825	OPUflex
9	IB (2017 г.)	50	OPUflex
10	3G SDI	2,970	OPUflex

3.4. Рассчитать количество трибутарных слотов для каждого оптического блока данных вида k.

Номер варианта	Трибутарные слоты TS	Оптические блоки данных вида k ODUk
1	1,25G	ODU2
2	1,25G	ODU3
3	1,25G	ODU4
4	1,25G	ODU1
5	2,5G	ODU3
6	2,5G	ODU2
7	1,25G	ODU1
8	5G	ODU2
9	5G	ODU3
10	5G	ODU4

3.5. Для передачи сигналов по трактам Оптической транспортной сети применяется основная процедура отображения **GMP**.

Рассчитать параметры **GMP**:

целое число n и m битовых объектов сигналов клиентов;

целое число битовых символов остатка сигнала клиента;

сравнить полученные значения с данными табл. 3.5.

Номер варианта	Сигналы клиента. Приложение 2	Относительная погрешность скорости передачи сигнала клиента, ppm	Сервер	Синхронизация, n , бит.	Mbyte granularity mapping ($m = 8 \times M$)
1	1G Ethernet	- 100	OPU0	8	1
2	1,5G SDI	- 100	OPU1	8	2
3	10G Ethernet	- 100	OPU2	8	8
4	40G Ethernet	- 100	OPU3	8	32
5	100G Ethernet	- 100	OPU4	8	80
6	40G Ethernet	+ 100	OPU3	8	32
7	10G Ethernet	+ 100	OPU2	8	8
8	100G Ethernet	+ 100	OPU4	8	80
9	1G Ethernet	+ 100	OPU0	8	1
10	1,5G SDI	+ 100	OPU1	8	2

3.6. Определить вид оптических трибутарных блоков данных **ODTU_{jk}** для передачи сигналов **ODU_j** в **ODU_k**. Рассчитать пропускную способность **ODTU_{jk}**.

Номер варианта	Сетевой слой клиента	Сетевой слой сервера	PT
1	ODU0	ODU1	20
2	ODU1	ODU2	20
3	ODU1	ODU2	21
4	ODU1	ODU3	20
5	ODU1	ODU3	21
6	ODU2	ODU3	20
7	ODU2	ODU3	21
8	ODU1	ODU3	21
9	ODU2	ODU3	20
10	ODU2	ODU3	21

3.7. Определить вид оптических трибутарных блоков данных **ODTuk.ts** для передачи сигналов **ODUj** в **ODUk**. Рассчитать пропускную способность **ODTuk.ts** для заданных значений **ts**.

Номер варианта	Сетевой слой клиента	Сетевой слой-сервера	PT	ts
1	ODUflex	ODU2	21	4
2	ODUflex	ODU3	21	8
3	ODUflex	ODU4	21	32
4	ODUflex	ODU2	21	6
5	ODUflex	ODU3	21	16
6	ODUflex	ODU4	21	64
7	ODUflex	ODU2	21	8
8	ODUflex	ODU3	21	32
9	ODUflex	ODU4	21	80
10	ODUflex	ODU4	21	48

3.8. Рассчитать скорость передачи сигнала цикловой синхронизации и привести его структуру.

Номер варианта	Сетевой слой секции OTUk
1	OTU1
2	OTU2
3	OTU3
4	OTU4
5	OTU4
6	OTU3
7	OTU2
8	OTU1
9	OTU1
10	OTU2

3.9. Определить размер блока для контроля качества передачи без перерыва связи с применением процедуры **ВІР8** в сетевых слоях трактов **ODUk** и секций **OTUk**.

Номер варианта	Сетевые слои трактов	Сетевые слои секций
1	ODU0	–
2	ODU1	OTU1
3	ODU2	OTU2
4	ODU3	OTU3
5	ODU4	OTU4
6	ODU4	OTU4
7	ODU3	OTU3
8	ODU2	OTU2
9	ODU1	OTU1
10	ODU0	–

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Отображение терминов

Таблица П1

Термины Оптической транспортной сети в Рекомендациях МСЭ-Т
G.709/Y.1331 разных лет

Recommendation ITU-T G.709/Y.1331 Edition 1,0–4,0 (2001–2012 г.г.)	Recommendation ITU-T G.709/Y.1331 Edition 5,0 2016 г.	Рекомендация МСЭ-Т G.709/Y.1331 Редакция 5,0 2016 г.
OTM-0.m	SOTU Single OTU	Одиночный оптический транспортный блок
OTM-nr.m	MOTU Multi OTU	Много оптических транспортных блоков
OTM-1.m	SOTUm Single OTU with management	Одиночный оптический транспортный блок с управлением
OTM-n.m	MOTUm Multi OTU with management	Много оптических транспортных блоков с управлением
OTM-0.mvn	multi-lane SOTU	
OCh Optical Channel	OCh	Оптический канал
OChr Optical Channel with reduced functionality	OCh P	Полезная нагрузка оптического канала
OCh-P Optical Channel Payload	OCh-P	Полезная нагрузка оптического канала
OCh-OH Optical Channel Overhead	OCh-O	Заголовок оптического канала
OTU Optical Channel Transport Unit	OTU Optical Transport Unit	Оптический транспортный блок
ODU Optical Channel Data Unit	ODU Optical Data Unit	Оптический блок данных
OPU Optical Channel Payload Unit	OPU Optical Payload Unit	Оптический блок полезной нагрузки
ODTU Optical Channel Data Tributary Unit	ODTU Optical I Data Tributary Unit	Оптический трибутарный блок данных
ODTUG Optical Channel Data Tributary Unit Group	ODTUG Optical Data Tributary Unit Group	Оптическая группа трибутарных блоков данных
OOS OTM Overhead Signal	OSC Optical Supervisory Channel	
OTLk.n Optical Transport Lane	OTLk.n lane	
OPS0 Optical Physical Section	OPS	Оптическая физическая секция
OPSn	OPS	

Recommendation ITU-T G.709/Y.1331 Edition 1,0–4,0 (2001–2012 г.г.)	Recommendation ITU-T G.709/Y.1331 Edition 5,0 2016 г.	Рекомендация МСЭ-Т G.709/Y.1331 Редакция 5,0 2016 г.
OTS-OH Optical Transmission Section Overhead	OTS-O	Заголовок Оптической секции передачи
OMS-OH Optical Multiple[Section Overhead	OMS-O	Заголовок Оптической мультиплексной секции
–	OTSi Optical Tributary Signal	Оптический трибутарный сигнал
–	OTSiG Optical Tributary Signal Group	Группа оптических трибутарных сигналов
–	OTSiG-O Optical Tributary Signal Group-Overhead	Заголовок группы оптических трибутарных сигналов
–	OTSiA Optical Tributary Signal Assembly	Комплект, набор оптических трибутарных сигналов
OCh-P	OTSiG with one OTSi	OTSiG с одним OTSi
OCh-O	Reduced version OTSiA	Версия OTSiA с сокращенной функциональностью
OChr	OTSiG with one OTSi, no OTSiG-O	
OPS0	OTSiG with one OTSi, no OTSiG-O	
OPSMnk	OTSiG with m OTSi, no OTSiG-O	
OPSn	n OTSiG and no OTSiG-O; each OTSiG with one OTSi	

**2. Компонентные сигналы
в Оптической транспортной сети**

Таблица П2

Сигналы с постоянной битовой скоростью

Стандарт	Название	Название сигнала клиента в Учебном Пособии	Скорость передачи, Гбит/с	Отображение в OPUk
		CBR2G5	2,5	OPU1
		CBR10G	10,0	OPU2
		CBR40G	40,0	OPU3
		CBR100G	100,0	OPU4

Таблица П3

Сигналы сети Синхронной цифровой иерархии

Стандарт	Название	Название сигнала клиента в Учебном Пособии	Скорость передачи, Гбит/с	Отображение в OPUk
ITU-T Rec. G. 707	STM-1	STM-1	0,155520	
ITU-T Rec. G. 707	STM-4	STM-4	0,622080	
ITU-T Rec. G. 707	STM-16	STM-16	2,488320	OPU1
ITU-T Rec. G. 707	STM-64	STM-64	9,953280	OPU2
ITU-T Rec. G. 707	STM-256	STM-256	39,981312	OPU3

Таблица П4

Сигналы сети Ethernet

Стандарт	Название	Название сигнала клиента в Учебном Пособии	Скорость передачи, Гбит/с	Отображение в OPUk
GigabitEthernet IEEE802.3z/ab	1000BASE ZX	1G Ethernet	1	OPU0
10GEthernet IEEE802.3ae	10GBASE SR	10G Ethernet	10	OPU2
		40G Ethernet	40	OPU3
100GEthernet		100GEthernet	100	OPU4

Сигналы сети Infiniband IB *)

Код в линии	Название	Название сигнала клиента в учебном пособии	Скорость передачи на 1 шину, Гбит/с	Отображение в OPUk
8B10B	SDR Single Data Rate	IB SDR	2,5	OPUflex
8B10B	DDR Double Data Rate	IB DDR	5,0	OPUflex
8B10B	QBR Quad Data Rate	IB QDR	10,0	OPU2
64B66B	FDR 10 Fourteen Data Rate 10	IB FDR	10,312	OPU2e
64B66B	FDR Fourteen Data Rate(2011)		14,4375	OPUflex
64B66B	EDR Encanced Data Rate	IB EDR	25,7825	OPUflex
			50	OPUflex

*) **IB**— высокоскоростная коммутируемая компьютерная сеть, используемая в высокопроизводительных вычислениях, имеющая очень большую пропускную способность и низкую задержку.

Таблица П6

Сигналы сети Fibre Channel FC *)

Стандарт	Название	Название сигнала клиента в Учебном Пособии	Скорость передачи на 1 шину, Гбит/с	Отображение в OPUk
FC100 Код 8B10B	1G FC	1G FC	1,0625	OPU0
FC200 Код 8B10B	2G FC	2G FC	2,125	OPU1
FC400 Код 8B10B	4G FC	4G FC	4,25	OPUflex
FC800 Код 8B10B	8G FC	8G FC	8,5	OPUflex
FC1200 Код 64B66B	10G FC Послед.	10G FC Послед.	10,51875	OPU2e
FC1600 Код 64B66B	16 G FC	16 G FC	14,025	OPUflex
FC3200 Код 64B66B	32 G FC	32 G FC	28,05	OPUflex
FC12800 Код 64B66B	128 G FC	128 G FC	4 × 28,05	OPUflex

*) **FC** волоконный канал – семейство протоколов для высокоскоростной передачи данных. Стандартизацией протоколов занимается Технический комитет T11, входящий в состав Международного комитета по стандартам в сфере ИТ (INCITS), аккредитованного Американским национальным институтом стандартов (ANSI). Изначальное применение FC в области суперкомпьютеров впоследствии практически полностью перешло в сферу сетей хранения данных, где FC используется как стандартный способ подключения к системам хранения данных уровня предприятия.

. В русскоязычной литературе термин используется без перевода.

Таблица П7

Сигналы сети Serial Digital Interface SDI.

Передача цифрового видео

Стандарт	Название	Название сигнала клиента в учебном пособии	Скорость передачи на 1 шину, Гбит/с	Отображение в OPUk
SMPTE 259M	SD-SDI			
SMPTE 344M	ED-SDI			
SMPTE 292M	HD-SDI	1,5G SDI	1,485	OPU1
SMPTE 372M	Dual Link HD-SDI			
SMPTE 424M	3G-SDI	3G SDI	2,970	OPUflex
SMPTE ST-2081*	6G UHD-SDI			
SMPTE ST-2082*	12G UHD-SDI			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулева, Н. Н. Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем. Функциональная архитектура транспортных сетей: учебное пособие / Н. Н. Кулева, Е. Л. Федорова ; ФГБОУ ВПО «СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». – СПб., 2013. – 56 с.
2. Кулева, Н. Н. Перспективные технологии в инфокоммуникационных системах. Архитектура SDN : учебное пособие / Н. Н. Кулева, Е. Л. Федорова ; СПбГУТ. – СПб., 2016. – 60 с.
3. Слепов, Н. Н. Англо-русский толковый словарь сокращений в области связи и новых информационных технологий: Около 42000 терминов и словарь русских сокращений около 7400 терминов / Н. Н. Слепов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Техносфера, 2013. – 793 с.
4. Recommendation ITU-T G.709/Y.1331 (06/2016). Interfaces for the optical transport network.

**Матюхин Александр Юрьевич
Мельтенисов Михаил Александрович
Подгайский Александр Григорьевич
Федорова Елена Леонтьевна**

**Перспективные технологии
в инфокоммуникационных системах.
Архитектура OTN**

Учебное пособие

Отпечатано с готового авторского оригинал-макета

План издания 2019 г., п. 42
Подписано к печати 12.10.2019 г.
Объем 4,0 усл.-печ. л. Тираж 32 экз. Заказ 980

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ