

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ OTN

1. Структура транспортного модуля OTUk

Основой построения транспортных модулей OTM являются транспортные блоки (кадры) оптического канала OTUk трех уровней ($k = 1, 2, 3$). OTUk всех уровней имеют одинаковую структуру, представленную на рисунке 5. Транспортные блоки различных уровней имеют одинаковые размеры, но различную длительность. Естественно, скорость передачи их различается (см. табл. 1).

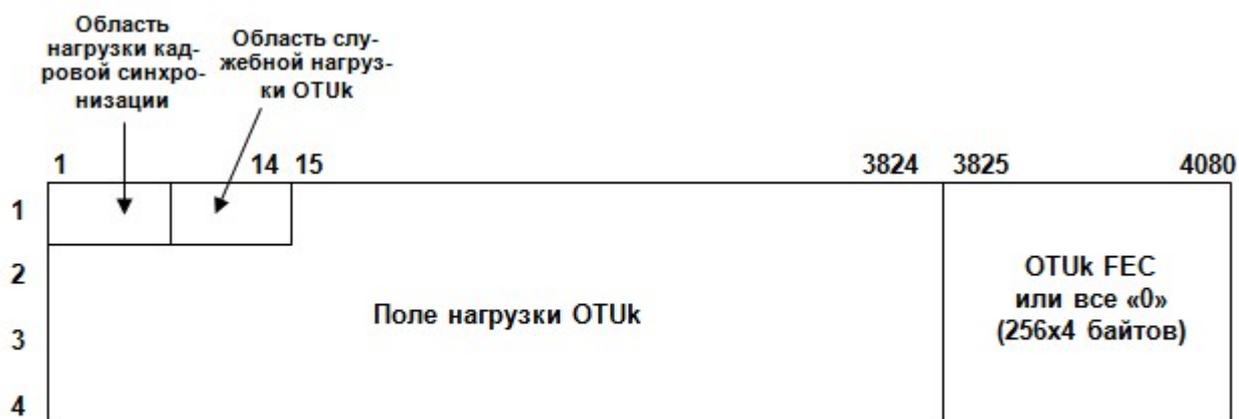


Рис. 5 Структура кадра OTUk

Таблица 1

OTUk	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости	Длительность кадра, мкс
OTU1	255/238×2488320 ($\approx 2,7$ Гбит/с)	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	48,971
OTU2	255/237×9953280 ($\approx 10,7$ Гбит/с)		12,191
OTU3	255/236×39813120 (≈ 43 Гбит/с)		3,035

Как видно из рисунка, кадр OTUk представляет собой матрицу, состоящую из четырех строк и 4080-и столбцов, каждая ячейка которой имеет емкость один байт. Чтение матрицы осуществляется слева направо и сверху вниз, так что вначале прочитывается информация кадровой синхронизации, содержащая 7 байтов, а затем область служебной нагрузки (заголовок), также состоящая из 7-и байтов. Завершением всех строк кадра является поле из 256-и столбцов, которое может использоваться для упреждающей коррекции ошибок FEC посредством кода Рида-Соломона (RS). При отсутствии процедуры FEC это поле заполняется балластными нулевыми символами. Заметим, что в байтах биты старших разрядов находятся справа.

Блок OTUk после формирования скремблируется за исключением первых 14-и байтов (байтов кадровой синхронизации и заголовка). Скремблер имеет образующий полином $1+x+x^3+x^{12}+x^{16}$.

На рисунке 6 показана структура полей кадровой синхронизации и заголовка кадра OTUk. Цикловой синхросигнал FAS величиной в шесть байтов, из которых первые три имеют структуру «1111 0110», а вторые три – «0010 1000». Сверхцикловой синхросигнал MFAS имеет переменную структуру («00000000» – в нулевом цикле, «00000001» – в первом, ... «11111111» – в 255-м цикле), обеспечивающую содержание 256-и циклов в сверхцикле. Принятая форма сверхциклового синхросигнала позволяет организовывать в сверхцикле субсверхцикловые структуры, содержащие 2, 4, 8, 16, 32 и т.д. циклов.

Первые три байта SM поля заголовка OTUk являются байтами контроля участка. Байт TPI является идентификатором маршрута тракта и занимает 64 позиции из 256 позиций сверхцикла OTUk. Позиции с 0-й по 15-ю (SAPI) являются уникальным адресом источника, а позиции с 16-й по 31-ю – уникальным адресом приемника. В случае отсутствия адреса соответствующие байты заполняются символами «0».

Первые четыре бита (BEI) байта сообщений обратного канала используются в четных циклах для сообщения о количестве ошибок, обнаруженных посредством VIP8, а в нечетных (BIAE) – об ошибках упаковки данных в блоке OTUk. Бит BDI сигнализирует о дефекте, а IAE о потере цикловой синхронизации. Биты RES третьего байта SM, а также байт RES заголовка – резервные.

Байт GCC используется для организации общего канала связи.

В системах SDH для упреждающего исправления ошибок FEC 16-и символьные коды Рида-Соломона RS(255, 239). Каждая основная строка OTUk разбивается на блоки по 239 байтов, для каждого из которых вычисляется контрольная сумма и создается контрольный блок из 16 байтов. Объединенные блоки $239+16=255$ являются подстроками OTUk. Контрольные блоки представляют собой остаток от деления исходного блока на образующий полином $P(x) = x^8+x^4+x^3+x^2+1$. При побайтном мультиплексировании образуются строки блока OTUk. На приеме аналогично вычисляются остатки от деления и сравниваются с принятыми. Их совпадение говорит об отсутствии ошибок, а расхождение – о наличии и расположении ошибок в подстроке. Код RS(255, 239) позволяет обнаруживать до 16 ошибок в подстроке и 8 ошибок корректировать.

Как показывает практика, применение кода RS(255, 239) позволяет увеличить потери кабельного участка на 5 – 8 дБ.

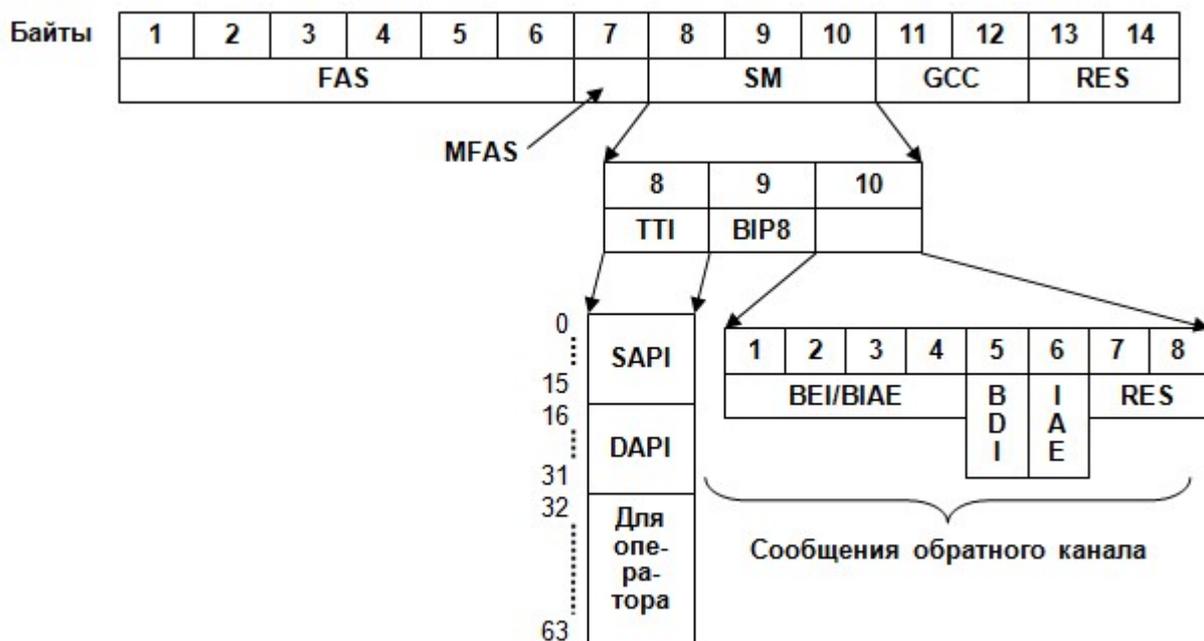


Рис. 6 Структура служебных областей OTUk.

2. Структура блока данных ODUk

Поле нагрузки OTUk (см. рис. 5) занимает блок данных оптического канала ODUk, который используется для поддержки тракта «точка – точка». Его структура представлена на рисунке 7.



Рис. 7 Структура кадра ODUk

Скорости передачи ODUk определены для $k = 1, 2, 3$ (см. табл. 2).

Таблица 2

ODUk	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости
ODU1	239/238×2488320 (≈2,5 Гбит/с)	±20·10 ⁻⁶
ODU2	239/237×9953280 (≈10 Гбит/с)	
ODU3	239/236×39813120(≈40,3 Гбит/с)	

В заголовке ODUk размещается информация о функциях эксплуатации и управления оптического канала. Структура заголовка представлена на рисунке 8.

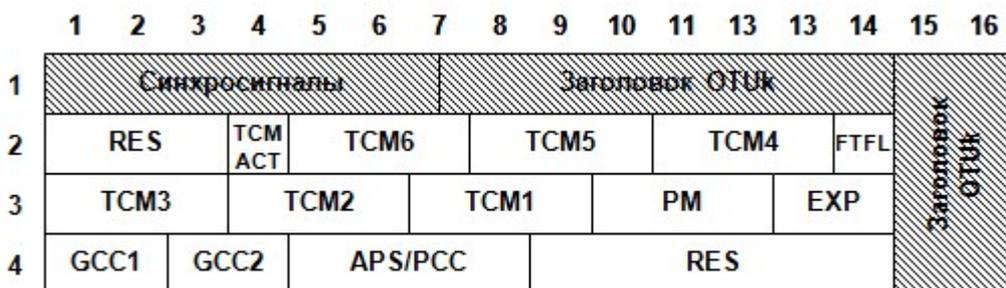


Рис. 8 Структура заголовка ODUk

Байты наблюдения тракта PM (Path Monitoring) ODUk имеют структуру, аналогичную байтам наблюдения секции SM транспортного модуля оптического канала OTUk. Сравнивая рисунки 6 и 9, на которых показаны структуры байтов SM и PM соответственно, отмечаем их различие в байте, предназначенном для сообщений обратного канала. Это различие заключается в отсутствии сообщений об ошибках синхронизации (IAE, BIAE) и наличии битов STAT (Status) – состояния тракта ODUk. Эти биты могут указывать на разъединение прямого направления передачи, блокировку канала или его аварийное состояние.

Для наблюдения тандемного (транзитного) соединения TCM в сети OTN в заголовке ODUk предусмотрено шесть полей. Эти байты контролируют соединения пар пользовательских интерфейсов в сети общего пользования. Например, это могут быть соединения пары оптических сетевых интерфейсов

между узлами сети. Кроме того, байты TCM позволяют контролировать защитные переключения линейных трактов в подсети OTN (режимы 1+1, 1:1) и трактов оптических каналов (режим 1:n) по сигналам ухудшения качества передачи или повреждения соединения. На уровне оптического канала возможна поддержка наблюдения за защитным переключением в кольцевой сети. Структура полей TCM аналогична структуре поля PM (см. рис. 9).

На рисунке 10 приведен пример распределения байтов TCM для наблюдения за тремя участками OTN. На рисунке треугольниками обозначены точки начала и конца трактов ODUk (A1-A2 с наблюдением в TCM1, B1-B2 и B3-B4 с наблюдением в TCM2 и C1-C2 с наблюдением в TCM3).

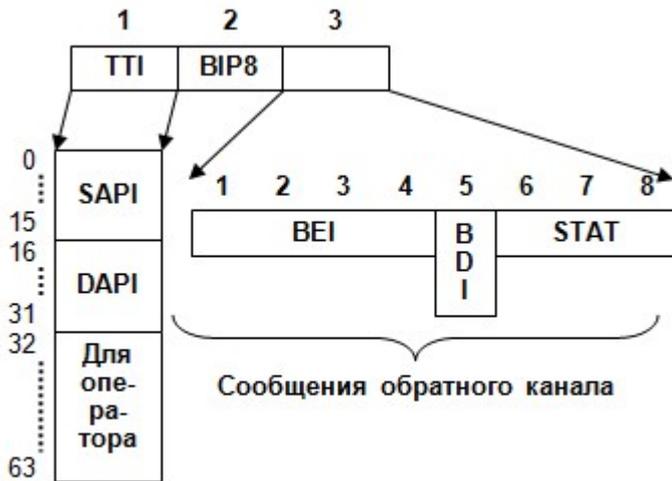


Рис. 9 Структура байтов наблюдения PM

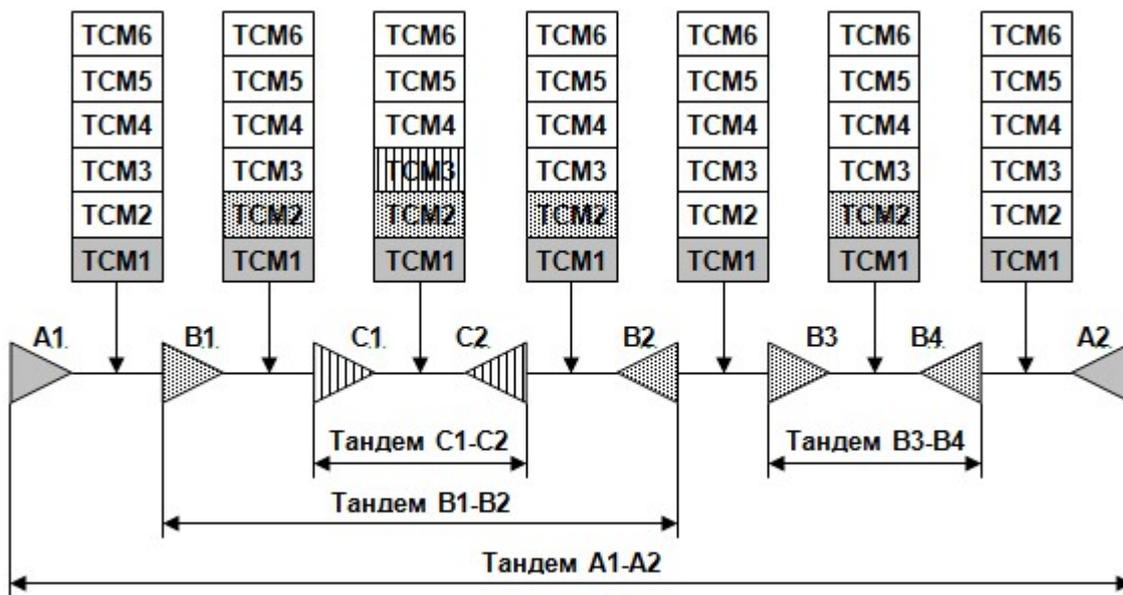


Рис. 10 Пример распределения байтов TCM по участкам сети

Байты GCC (General Communications Channels) образуют пользовательские (операторские) каналы и их формат определяется отдельно по соглашению, например, для сети сигнализации. Четыре байта APS/PCC предназначены для автоматического защитного переключения ODUk и защиты оптического канала. Эти

байты образуют сверхцикл из восьми циклов; в первом цикле байты APS/PCC отнесены к защите тракта ODU_k, в последующих шести – к шести тандемным соединениям, в последнем цикле сверхцикла – к защите секции OTU_k. Сверхциклы APS/PCC образуются на базе сверхциклового синхросигнала MFAS (см. рис. 6).

Байт FTFL (Fault Type and Fault Location Reporting Communication Channel) в заголовке ODU_k определен для транспортировки в сверхцикле из 256 байтов сообщений о типе повреждения и трансляции локального повреждения канала связи. Этот байт переносит сообщения в виде 128 байтовых полей прямого и обратного действия, структура которых показана на рисунке 11. Поле индикации повреждения используется только в трех состояниях: 00000000 – нет повреждения; 00000001 – сигнал повреждения; 00000010 – сигнал ухудшения качества.



Рис. 11 Структура байта FTFL

Поле идентификации оператора строится в соответствии с международными стандартами: ISO 3166 (код страны) и МСЭ-Т М.1400. Остальные состояния байта FTFL не определены.

3. Структура нагрузочного блока OPU_k

Блоки нагрузки оптических каналов OPU_k (k = 1, 2, 3) предназначены для упаковки цифровых пользовательских данных. Ввод пользовательских данных может осуществляться бит синхронным способом или асинхронным с двусторонним согласованием скоростей по битам. Скорости передачи для блоков OPU_k различных порядков приведены в табл. 3.

Таблица 3

OPU _k	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости
OPU1	2488320	±20·10 ⁻⁶
OPU2	238/237×9953280	
OPU3	238/236×39813120	

OPUk занимает поле нагрузки блока данных оптического канала ODUk и в свою очередь состоит из поля нагрузки пользовательских данных и заголовка (см. рис. 6). Структура заголовка OPUk показана на рисунке 12.

Байт заголовка PSI (Payload Structure Identifier) OPUk является идентификатором структуры нагрузки; он образует 256-и байтный сверхцикл, но только нулевой байт несет сообщение о типе нагрузки PT (Payload Type), остальные байты резервные. Например, асинхронно введенной информации будет соответствовать комбинация 00000010, а ввод ячеек ATM – комбинация 00000100 и т.д.

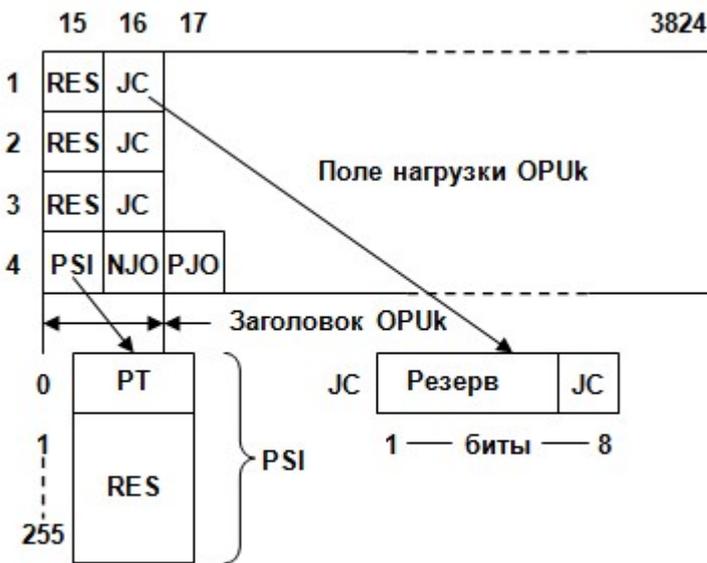


Рис. 12 Структура заголовка OPUk

Биты 7, 8 байтов JC (Justification Control) образуют трехкомандную систему двустороннего согласования скорости передачи, которая используется при асинхронном вводе информации пользователя[1]. Передача команд в трех байтах обеспечивает защиту от одиночных ошибок.

Байт NJO, (Negative Justification Opportunity), является информационным при отрицательном согласовании скорости передачи, а в байт PJO (Positive JO) вводится вставка при положительном согласовании.

Резервные байты и биты RES предназначаются для будущей стандартизации.

Заметим, что при асинхронной загрузке в OPUk модулей STM-N ввод осуществляется побитно без опознавания байтов. При загрузке пакетов, например, ячеек ATM, согласование скорости не применяется. При этом последний пакет (ячейка), не полностью поместившийся в поле нагрузки, переносится в следующий модуль OPUk.

Для передачи потоков информации, имеющих переменную скорость, используются виртуальные сцепки модулей OPUk. Виртуальная сцепка (конкатенация) в OPUk является единым блоком информации X параллельно передаваемых блоков OPUk. Виртуальная сцепка обозначается как OPUk-Xv, где k = 1, 2, 3, X= 1, 2, ..., 256. Таким образом, одновременно может быть предоставлена емкость до Xx4x3810 байтов для переноса информации пользователя. На рис. 13 представлена структура блока OPUk-Xv. Входящие в ее состав нагрузочные блоки OPUk транспортируются через сеть OTN

самостоятельно, а потому имеют случайную величину времени распространения. Поэтому все блоки OPUk имеют индивидуальные заголовки (см. рис. 14), с помощью которых на приемном конце восстанавливается структура виртуальной сцепки OPUk-Xv. Сравнивая рисунки 14 и 12, видим, что заголовки блоков OPUk, составляющих виртуальную сцепку, несут значительно больший объем информации, нежели заголовки блоков OPUk, не образующих сцепку. Во-первых, в циклическую структуру PSI, состоящую из 256 байтов, вводится байт vсPT, который несет информацию о типе нагрузки сцепки, например, сцепка загружена модулями STM-N, ячейками АТМ и т.д.. При этом в байте PT указывается, что данный блок входит в состав сцепки, то есть в нем передается код 06. Остальные байты PSI являются резервными.

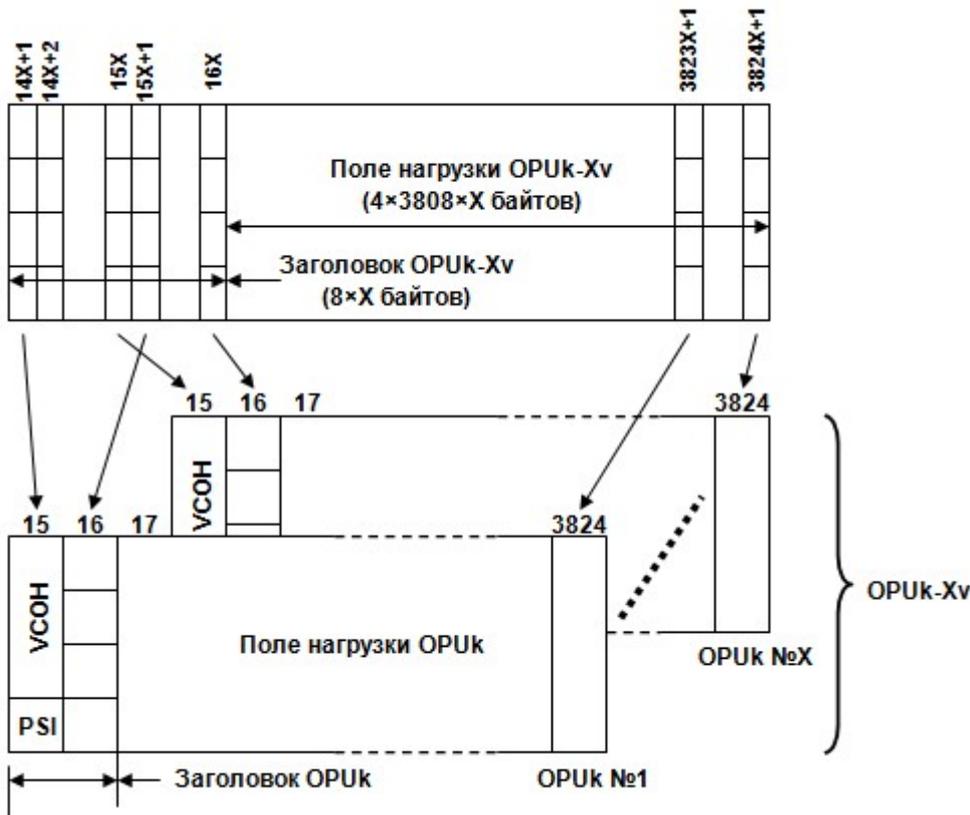


Рис. 13 Структура блока OPUk-Xv

Во-вторых, в заголовки OPUk вводятся циклические структуры VCON1, VCON2 и VCON3, содержащие по 32 байта. Первые два байта MFI 1 и MFI 2 (Multi Frame Indicator) структуры VCON1 представляют собой двухступенный счетчик емкостью $2^{16} = 65536$ кадров. Таким образом, совместно со счетчиком кадров MFAS, емкостью 256 кадров, обеспечивается результирующая группа, размером $65536 \times 256 = 16777216$ кадров блока OPUk. Это позволяет на приемном конце выравнять практически любое расхождение во времени задержки отдельных блоков.

Байт SQ (Sequence Indicator) указывает порядковый номер блока OPUk в сцепке.

Биты CTRL и CID (LCAS Control Word и Group Identification) служат для передачи команд, относящихся к LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme) – схеме регулировки скорости канала, т.е. к технологии, позволяющей адаптировать пропускную способность канала к скорости передачи пользовательского сигнала путем изменения размеров сцепки (параметра X).

Бит RSA (Re-Sequence Acknowledge) – восстановление последовательности передается на дальний конец для подтверждения правильности восстановления сцепки.

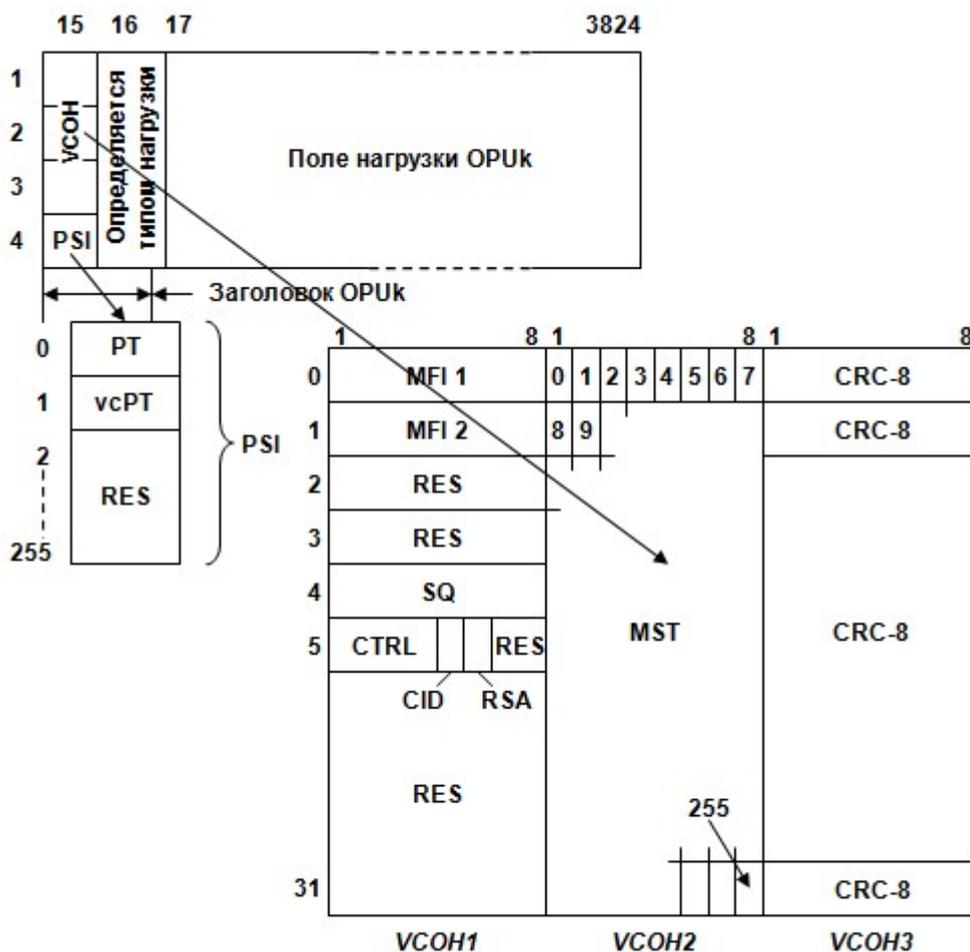


Рис. 14 Структура заголовка блока OPUk-Xv

Остальные байты и биты VCON1 являются резервными (RES).

Структура VCON2 занята битами MSI (Member Status field) – поля статуса участка (поля нагрузки блока OPUk-Xv). Для каждого блока OPUk сцепки в этом поле отводится один бит, указывающий на присутствие или отсутствие данного блока в сцепке.

Структура VCON3 несет проверочные байты избыточного циклического кода CRC-8. Контрольная сумма вычисляется по байтам VCON1 и VCON2 от кадра к кадру и вводится в байт VCON3. Порождающим полиномом для этого кода является полином вида x^8+x^2+x+1 .

Байты, входящие в 16-й столбец блока OPUk, определяются типом нагрузки блока. Так, на рис.15 приведена структура блока OPUk-4v, при переносе сигналов синхронной ЦТС STM-16 или STM-64, которые, как указывалось ранее, загружаются в блок OPUk асинхронно. Из рисунка видно (ср. с рис.12), что в каждой строке блока содержится по три байта JC, несущих команду согласования скоростей, байт PJO, занимаемый вставкой при положительном согласовании, и байт NJO, занимаемой

пользовательской информацией, при отрицательном согласовании скоростей. При переносе ячеек АТМ эти байты заполняются нулевыми символами.

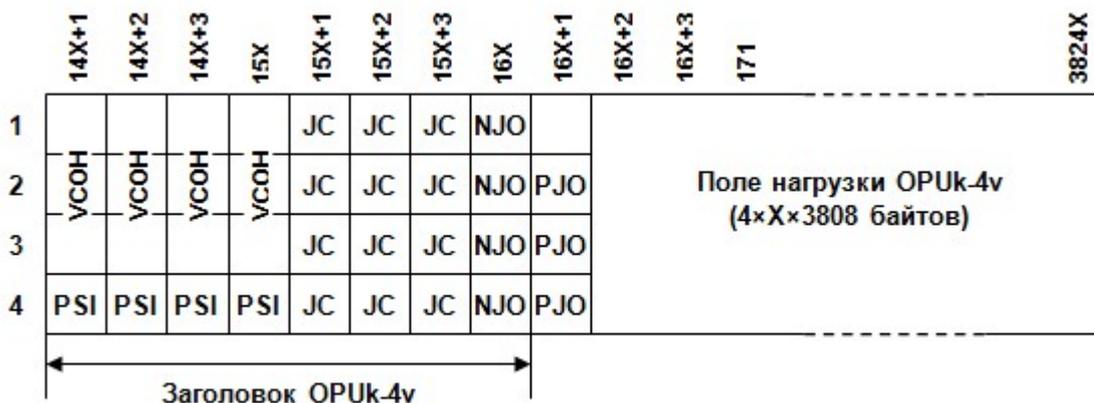


Рис. 15 Структура блока OPUk-4v при переносе сигнала STM-16 или STM-64

Как и блоки OPUk блоки OPUk-Xv имеют определенные номинальные скорости, значения которых приведены в табл.4.

Таблица 4

OPUk-Xv	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости
OPU1-Xv	Xx2488320	±20·10 ⁻⁶
OPU2-Xv	238/237x9953280	
OPU3-Xv	238/236x39813120 (≈43 Гбит/с)	

4. Мультиплексирование блоков ODUk

В разделе 2 указывалось, что блоки данных ODUk нижних уровней можно асинхронно мультиплексировать в блоки данных более высокого уровня. При этом следует иметь в виду, что информационное поле блоков ODU2 и ODU3 подразделяется соответственно на группы из четырех и шестнадцати компонентных интервалов TS (Tributary Slot). При этом второй столбец указателя (16-й столбец OTU) используется поочередно для групп компонентных интервалов. На рисунке 16 показано размещение компонентных интервалов блока ODU2. Очевидно, что в этом случае блоки ODU2 образуют сверхцикл, состоящий из четырех циклов. Аналогично формируется и сверхцикл ODU3, но состоящий из 16 циклов. Эти сверхциклы привязаны к сверхцикловому сигналу MFAS OTUk (в первом случае используются биты 7 и 8 байта MFAS, а во втором – биты 5, 6, 7 и 8).

При мультиплексировании блока ODU1 в блок ODU2 предварительно образуют компонентный блок ODTU12, представляющий собой структуру из 952 столбцов и 4x4=16 строк плюс один столбец указателя JOH. Четыре таких блока образуют группу компонентных блоков ODTUG2, которая вводится в блок OPU2 и далее в ODU2. При этом один блок ODTU12 вводится в первые компонентные интервалы TS1, другой – в TS2 и так далее. Мультиплексирование блока ODU1 в блок ODU3 происходит аналогично, но сопровождается образованием компонентного блока ODTU13, состоящего из 238 столбцов и 16x4=64 строк плюс один столбец указателя JOH. Из 16-и блоков ODTU13 образуется группа ODTUG3, которая вводится в блок OPU3 и далее в ODU3. Наконец, при мультиплексировании блока ODU2 в блок ODU3 предварительно образуют компонентный блок

ODTU23, состоящий из 952 столбцов и $4 \times 4 = 16$ строк и повторенный четыре раза один столбец указателя JOH.

Особо следует отметить, что при мультиплексировании блоков ODUk нижних уровней в блоки данных более высокого уровня происходит многократное пересечение границ блока высокого уровня блоком низкого уровня. Так, блок ODU1 перемещается в $\frac{1}{4}$ области полезной нагрузки блока ODU2. Но для передачи полного блока ODU1 (15296 байтов) требуется $15296/3808 \approx 4,017$ блока ODU2, что и вызывает изменяющееся во времени относительное смещение их границ.

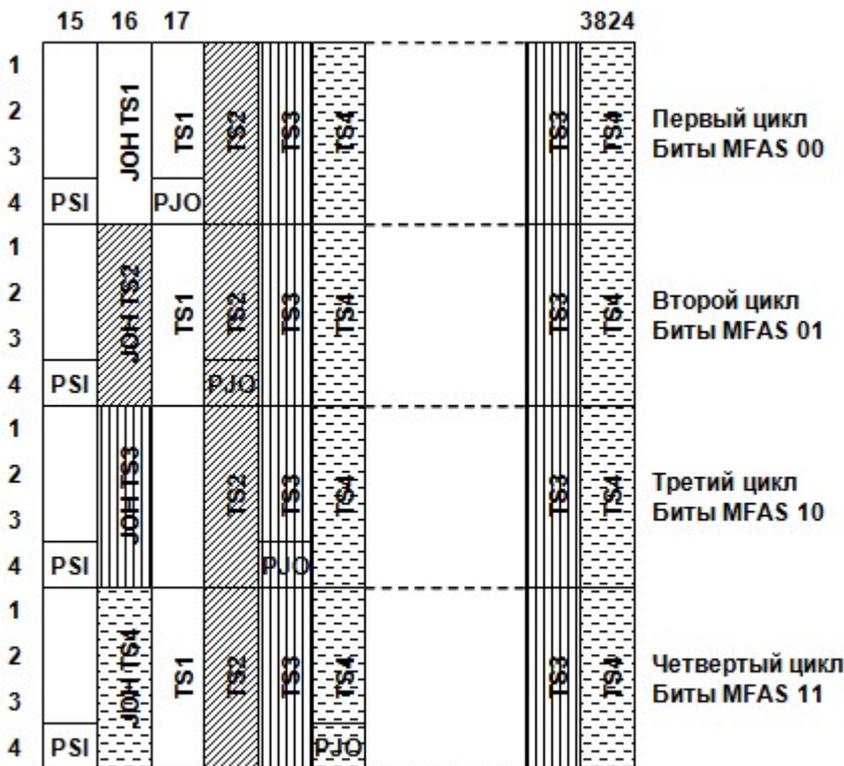


Рис. 16 Размещение компонентных интервалов блока ODU2

5. Оптические блоки OCh, OCC и OTM

Блок оптического канала OCh транспортирует цифровой сигнал пользователя между пунктами регенерации 3R. Сигналы пользователя канала являются сигналами блока OTUk. Другие цифровые сигналы пользователя (например, STM-N, GbE) могут обеспечиваться модулем OTM. Структура оптического канала с полной функциональностью (OCh) включает в себя две части: служебную нагрузку канала OCh и полезную нагрузку канала OCh. Канал OCh с ограниченной функциональностью (OChr) содержит только полезную нагрузку канала OChr.

Блок переноса оптического канала OCC (Optical Channel Carrier) предназначен для модуляции/демодуляции оптического сигнала. Он может исполнять функции в двух вариантах: OCC и OCCr. Вариант блока OCC используется в полнофункциональной схеме оптического мультиплексирования с формированием заголовка OCCo в секции мультиплексирования OMS и поля нагрузки OCCr, что будет рассмотрено далее. Вариант блока OCCr используется в упрощенной схеме

оптического мультиплексирования без заголовка. Каждому блоку OCC придается точно определенная оптическая частота, соответствующая стандарту DWDM или CWDM.

Группирование оптических несущих частот порядка n OCG- n , (Optical Carrier Group) предназначен для мультиплексирования/демультиплексирования до n частот. Предусмотрено две разновидности группирования: OCG- n . m и OCG- nr . m .

Группирование OCG- n . m состоит в объединении/разделении n оптических несущих частот с каналами нагрузки OTU- m в любом сочетании m (OTU1, OTU2, OTU3) и канала обслуживания с заголовком OCC ОН. Число оптических несущих n для блоков с полной функциональностью OCG- n . m в настоящее время не определено.

Группирование OCG- nr . m состоит в объединении/делении n оптических несущих частот с каналами нагрузки OTU- m в любом сочетании m (OTU1, OTU2, OTU3). В этом варианте группирования не предусмотрено заголовка в оптическом сервисном канале. Число оптических несущих n в блоках с ограниченной функциональностью OCG- nr . m не должно превышать 16-и.

Благодаря группированию OCG- n создается оптическая секция мультиплексирования OMS- n , в которой образуются блоки оптического мультиплексирования OМУ- n , $n > 1$ (Optical Multiplex Union).

Для поддержки уровня оптической секции мультиплексирования создается заголовок секции мультиплексирования OMS- n ОН, транспортируемый в сервисном канале OOS.

Блок оптического транспортного модуля OTM- n . m поддерживает оптическую секцию передачи OTS- n в оптической транспортной сети OTN. Модуль OTM- n . m создается в OTS- n и состоит из оптических сигналов нагрузки OMS- n и отдельного заголовка OTS- n ОН, передаваемого в OOS.

6. Сигналы служебной нагрузки модуля OTM

Сигналы служебной нагрузки модуля OTM полной функциональности (OOS – OTM Overhead Signal) состоит из служебной нагрузки секций OTS, OMS и канала OCh (см. рис. 17). Формат, структура и скорость передачи битов сигнала OOS в настоящее время разрабатывается. Сигнал OOS транспортируется в модуле OTM на отдельной оптической несущей – образует самостоятельный канал OSC (Optical Supervisory Channel). Модули ограниченной функциональности не имеют канала OSC.

При определенной структуре сети управления оператора в сигнале OOS можно передавать также общую информацию администрирования. Сообщения управления могут включать в себя сигнализацию, передачу речи и связь в звуковом диапазоне, загрузку программного обеспечения, специфические сообщения оператора и т. п.

Информация ОН канала OCh добавляется к каждому из n блоков OTU k для создания канала OCh. Она включает в себя информацию для функций технического обслуживания, к которым относится.

Сигнал FDI-0 – повреждения в OOS.

DI-P – индикации неисправности оптического канала на уровне оптической секции мультиплексирования OMS. Когда завершается OTU k , сигнал FDI передается как сигнал аварии ODU k -AIS.

OCI – индикации открытого соединения канала OCh представляет собой сигнал, посылаемый в нисходящем направлении и указывающий на то, что в восходящем направлении матричное соединение разорвано действием команды управления.

К сигналам технического обслуживания мультиплексной секции ОН OMS, кроме сигналов ОН OCh, добавлены сигналы BDI – соответствующей индикации во встречном направлении, а также сигнал PMI – сигнал, посылаемый в нисходящем направлении. Последний указывает на то, что в восходящем направлении в пункте источника сигнала участка OMS ни одна из оптических несущих OCC не содержит сигнала оптического канала. Таким образом, подавляется возникающее в результате этого сообщение о потере сигнала.

К сигналам оптической секции ОН OTS добавлен сигнал TTI – идентификатор маршрута тракта, передаваемый 64 байтами, содержание которых аналогично рассмотренным в §3.1.

В заключение еще раз отметим, что блоки с ограниченной функциональностью используются внутри доменов – ограниченных участков фотонной сети. Модуль OTM-nr обеспечивает n оптических каналов на одном оптическом промежутке с полной регенерацией сигнала 3R и завершением OTUk[V] на каждом окончании. При выполнении регенерации 3R на обеих сторонах интерфейсов модулей OTM-0.m и OTM-nr.m имеется доступ к служебной нагрузке блока OTUk[V], и с помощью этой служебной нагрузки осуществляется техническое обслуживание и контроль интерфейса. Поэтому на интерфейсах модулей OTM-0.m и OTM-nr.m не требуется использования отдельного сервисного канала OSC.

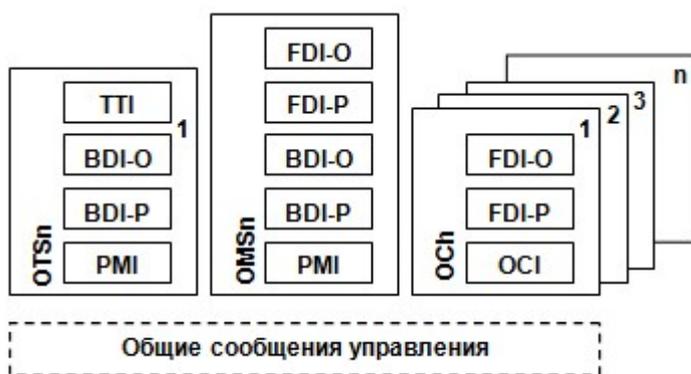


Рис. 17 Служебная нагрузка в сигнале OOS