

Изучение технологии мультиплексирования OTN поколения 5G

Лабораторно-практическое занятие.

Время изучения 2 часа

Цель работы, порядок выполнения и содержание

- Цель работы – изучение технологии оптической транспортной иерархии поколения 5G
- Порядок выполнения:
 - - изучить основные положения международных стандартов по технологии оптической транспортной иерархии поколения 5G;
 - - ответит на контрольные вопросы с занесением в отчёт;
 - - решить задачу;
 - - составить отчёт.

Список литературы для самостоятельного изучения

- Фокин В.Г., Ибрагимов Р.З. Гибкие транспортные сети.[Электронный ресурс]: учебное пособие, СибГУТИ, 2020.-219с.
- Фокин В.Г. Когерентные оптические сети.[Текст]: учебное пособие, СибГУТИ, 2015. - 371с.
- Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. [Текст] : учеб. пособие.-М.: Экотрендз, 2008. - 280 с.
- Фокин В.Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети. [Электронный ресурс] : учеб. пособие, СибГУТИ, 2019, - 241с.
- Фокин В.Г. Оптические мультиплексоры OADM/ROADM и коммутаторы РХС в мультисервисной транспортной сети. [Текст] : учеб. пособие. СибГУТИ, 2011. 204 с.

Содержание отчёта

- 1. Название работы. Ф.И.О. исполнителя с подписью. Руководитель занятия. Дата выполнения.
- 2. Цель работы.
- 3. Содержание лабораторно-практического занятия (краткий обзор технологии).
- 4. Краткие ответы на контрольные вопросы.
- 5. Решение задачи и выводы по результатам выполнения работы.

Введение

- Общие технические требования к гибким оптическим сетям уже обрели достаточно чёткие контуры для реализации на ближайшие годы. В требованиях указаны: максимальные коммутируемые оптические ёмкости узлов связи (от 60 Тбит/с до 500 Тбит/с) и максимальные коммутируемые электрические ёмкости узлов связи (от 18 Тбит/с до 150 Тбит/с); минимальные и максимальные суперканальные ёмкости (10 - 100 Гбит/с и 1 Тбит/с - 10 Тбит/с) при типовом значении скорости передачи в суперканале от 100 Гбит/с до 1 Тбит/с; минимальные дистанции транспортировки около 700 км и т.д. Все эти требования направлены на максимальное использование ресурсов оптических сетей, построенных на основе стандартных волоконно-оптических линий и технологии передачи OTN/OTN (рис.1) поколения 5G и предназначенных для транспортировки информации различными протоколами с гибкой маршрутизацией, гибким предоставлением ресурсов, гибкой защитой от ошибок и повреждений, гибкими дистанциями и скоростями передачи.
- Поколение оптических сетей 5G закреплено рядом международных стандартов 2016-2019 года: G.709, G.709.1, G.709.2, G.709.3 Международного Союза Электросвязи, сектора телекоммуникаций ITU-T и стандартами IEEE и продолжает своё развитие.
- В случае использования в гибкой оптической сети синхронной цифровой коммутации на уровне кадров оптической транспортной или синхронной транспортной иерархий, пакетных технологий транспортировки, например, Ethernet или TP-MPLS, клиентских сигналов с услугами реального времени или преобразований трафика TDM в пакеты фиксированной или переменной ёмкости актуальной задачей будет проектирование и реализация синхронизации нескольких уровней: физического, канального, сетевого и прикладного.
- Предметом изучения в этой работе являются решения по оптической транспортной иерархии последнего поколения, которые заметно отличаются от предшествующих четырёх стадий стандартизации и наполнены новым функциональным содержанием.

Направленность развития технологий гибких оптических сетей

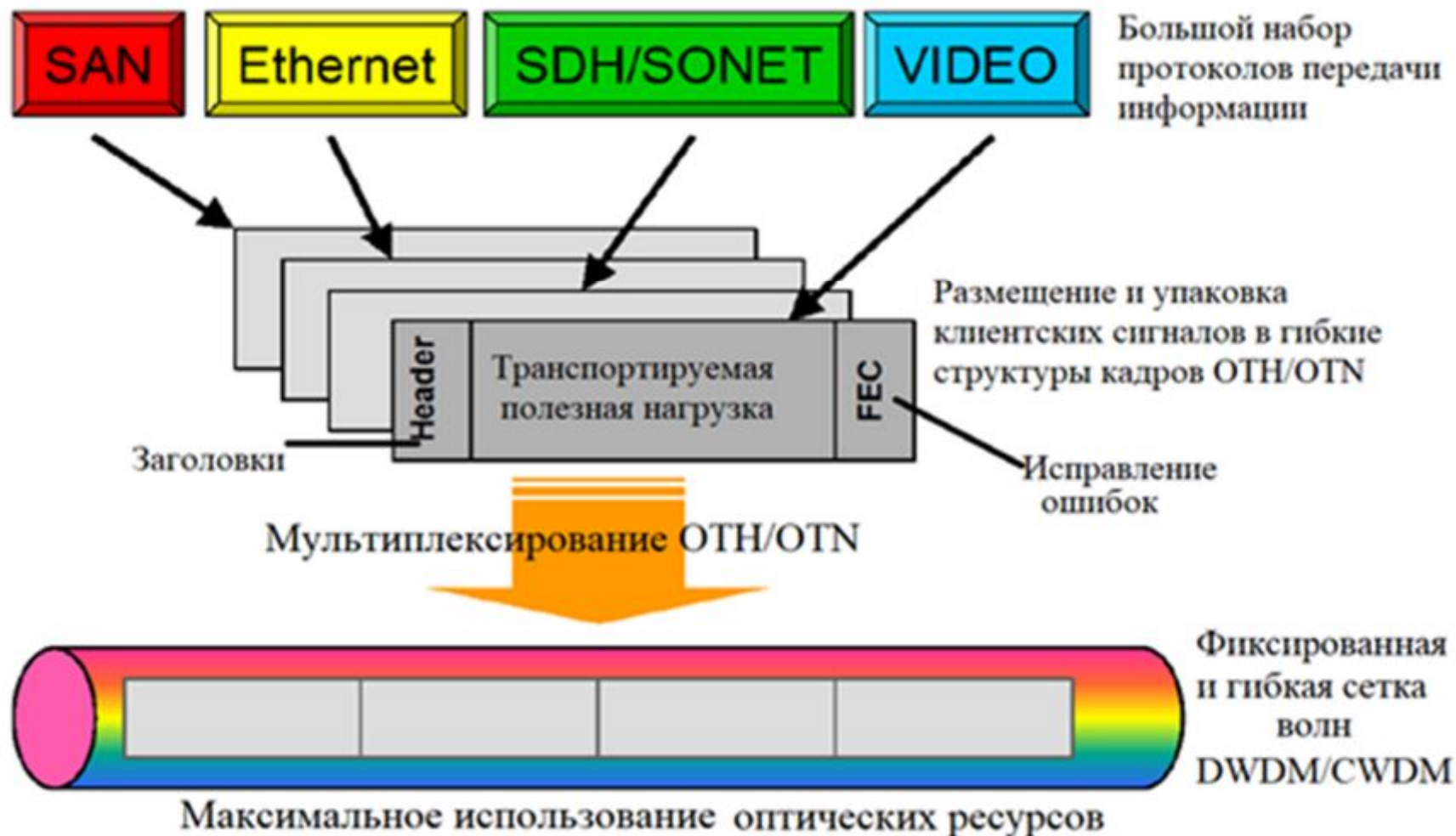


Рис.1

Нововведения в стандартах оптических сетей от ITU-T (G.709)

- В рекомендациях ITU-T для оптических транспортных сетей применены изменённые структуры интерфейсов, схемы мультиплексирования и коррекции ошибок, построение блоков передачи клиентской нагрузки, термины для описания структур и процедур формирования цифровых кадров, что частично отражено на рис.2 и в таблице соответствия терминов.

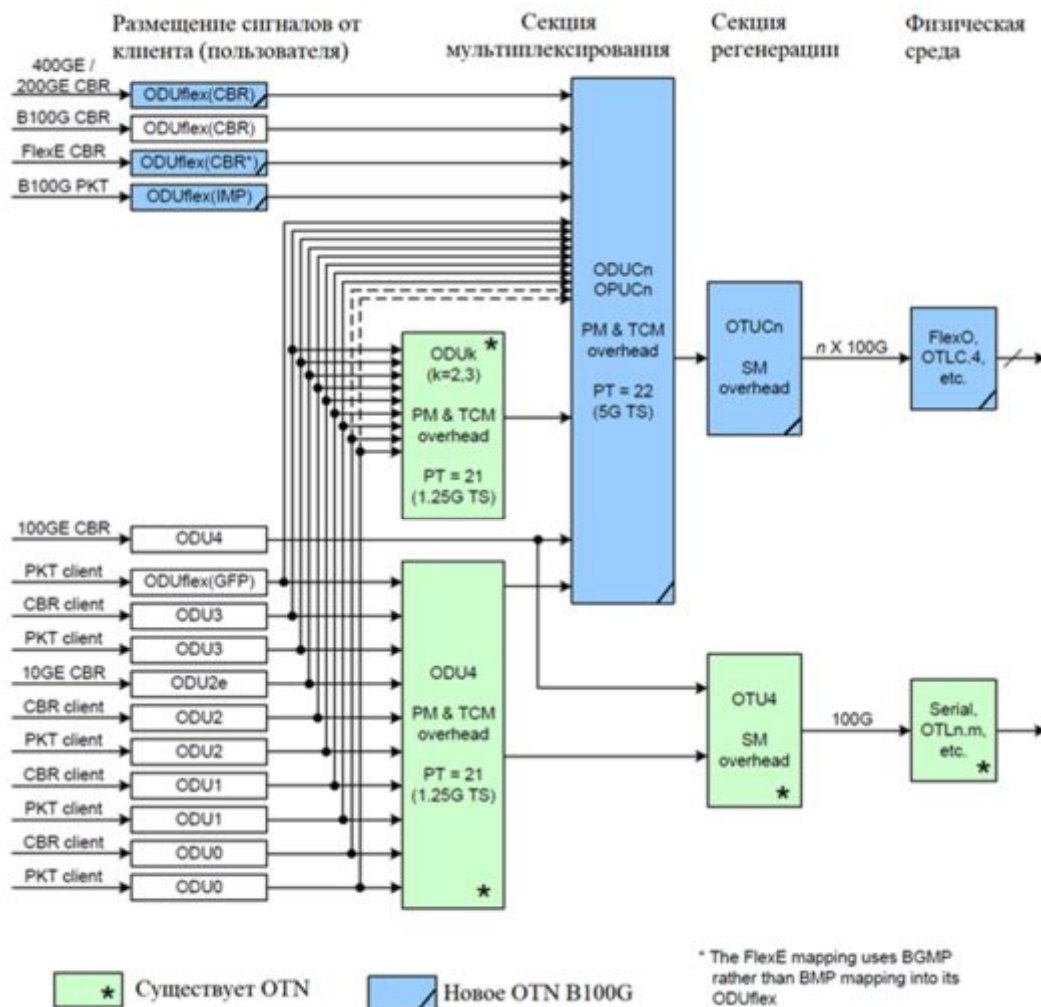
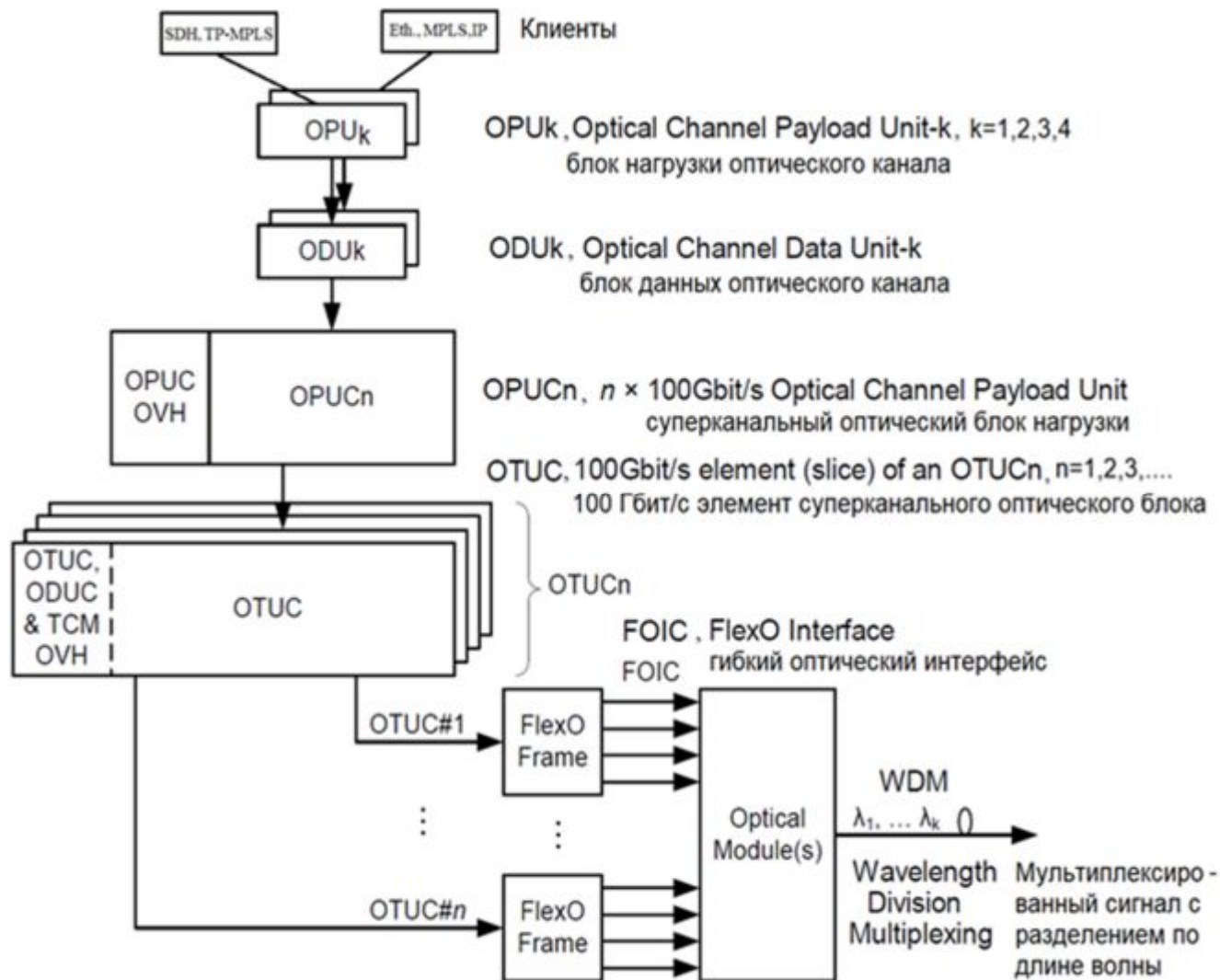


Рис.2. Нововведения в схеме мультиплексирования

Таблица 1 соответствий обозначений различных редакций рекомендации G.709

Редакция рекомендации G.709 с №1 по №4	Редакция рекомендации G.709 №5
OTM-0.m	SOTU
OTM-0.mvn	Multi-lane SOTU
OTM-nr.m	MOTU
OTM-1.m	SOTUm
OTM-n.m	MOTUm
Optical Channel (OCh)	OCh
Optical Channel with reduced functionality (OChr)	OCh-P
Optical Channel Payload (OCh-P)	OCh-P
Optical Channel Overhead (OCh-OH)	OCh-O
Optical Channel Transport Unit (OTU)	Optical Transport Unit (OTU)
Optical Channel Data Unit (ODU)	Optical Data Unit (ODU)
Optical Channel Payload Unit (OPU)	Optical Payload Unit (OPU)
Optical Channel Data Tributary Unit (ODTU)	Optical Data Tributary Unit (ODTU)
Optical Channel Data Tributary Unit Group (ODTUG)	Optical Data Tributary Unit Group (ODTUG)
Optical Multiplex Unit (OMU)	-
Optical Channel Carrier (OCC)	-
Optical Channel Carrier- overhead (OCCo)	-
Optical Channel Carrier- payload (OCCp)	-
Optical Channel Carrier with reduced functionality (OCCr)	-
Optical Carrier Group (OCG)	-
Optical Carrier Group with reduced functionality (OCGr)	-
Optical Carrier Group of order n (OCG)	-
OTM Overhead Signal (OOS)	Optical Supervisory Channel (OSC)
Optical Transport Lane (OTLk.n)	OTLk.n lane
Optical Transport Lane Carrier Group (OTLCG)	-
Optical Transport Lane Carrier (OTLC)	-
OPS0	OPS
OPSn	OPS
OPSMnk	OPS
OTS-OH	OTS-O
OMS-OH	OMS-O

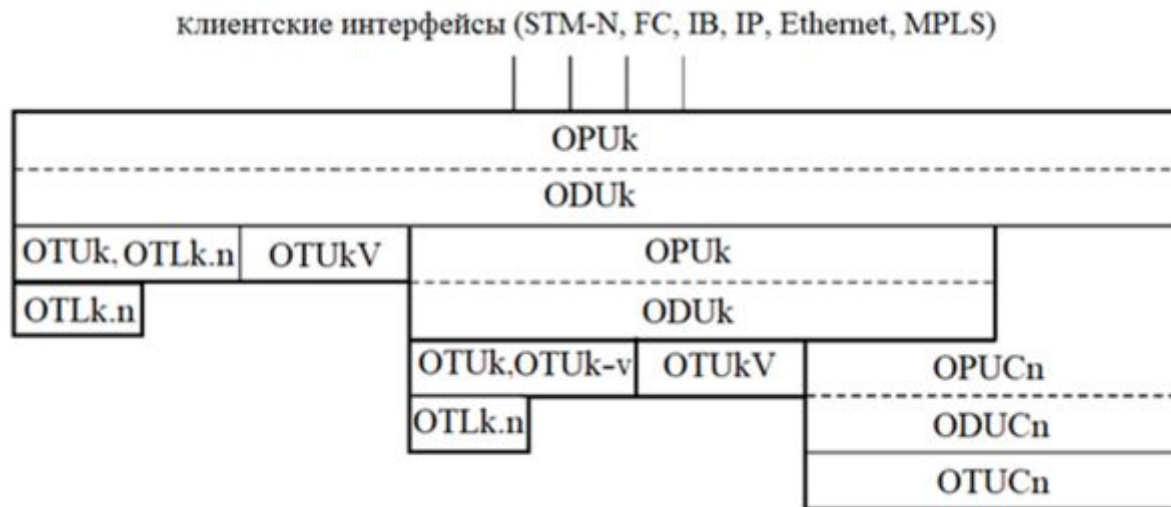
Последовательность размещения цифровых структур в гибком оптическом интерфейсе для скоростных режимов от 100 Гбит/с до суперканальных модулей



Решения для оптических интерфейсов G.709

- Серия рекомендаций G.709 (1,2,3) содержит базовые сведения для оптических интерфейсов, поддерживающих оптическую цифровую иерархию скоростей от 2,5 Гбит/с (а при необходимости и меньших значений, например, от 100 Мбит/с) до 400 Гбит/с OTH (Optical Transport Hierarchy), представленную циклическими структурами цифровых блоков OTUk (Optical Transport Unit k=1,2,3,4 и т.д.) и схемами их формирования. Блоки OTUk, несущие информационные сообщения от различных источников, после линейного кодирования передаются на отдельных оптических частотах сетки DWDM с различными форматами модуляции, зависящими от скорости, сетки волн, числа спектральных каналов и требуемой дистанции.
- Рекомендация G.709/Y1331 (2016/6), Interfaces for the optical transport network, является пятой редакцией и определяет: иерархию оптической сети; функции заголовков, поддерживающих мультисигнальные оптические сети; циклические структуры; битовые скорости; форматы для размещения клиентских сигналов (информационной нагрузки). Интерфейсы представлены тремя частями: цифровой частью; оптической частью; информационной частью. Также в интерфейсах представлена схема мультиплексирования цифровых блоков и оптических каналов. Набор стандартных решений рекомендации G.709 гарантирует гибкое построение оптической сети на цифровом и оптическом уровнях интерфейсов, в том числе, управляемую коммутацию отдельными оптическими волнами, коммутацию цифровых блоков, также сгруппированных волн и цифровых блоков.

Структура оптических интерфейсов OTN/OTN по рек. G.709. Цифровая часть



В структуре цифровой части интерфейсов обозначено:

OPUk, OPUCn, Optical Payload Unit-k/Cn – блок нагрузки оптического канала иерархического уровня $k=0,1,2,3,4$, flex/составного (или сцепляемого) из n отдельных блоков на скорости клиента 100 Гбит/с и выше;

ODUk, ODUCn, Optical Data Unit-k/Cn – блок данных оптического канала иерархического уровня k/ Cn составного (или сцепляемого) из n отдельных блоков;

OTUk (OTUk.n; OTUkV; OTUk-v), Optical Transport Unit k – оптический транспортный блок иерархического уровня k с различными вариантами исполнения (OTUk.n с числом мультиплексируемых оптических волн $n>1$, OTUkV – функционально стандартизированный, OTUk-v – со спецификацией производителя по исправлению ошибок FEC, forward error correction);

OTUCn, Optical Transport Unit, кадр, составленный из отдельных n блоков;

STM-N, Synchronous Transport Module – синхронный транспортный модуль порядка $N = 0, 1, 4, 16, 64, 256$;

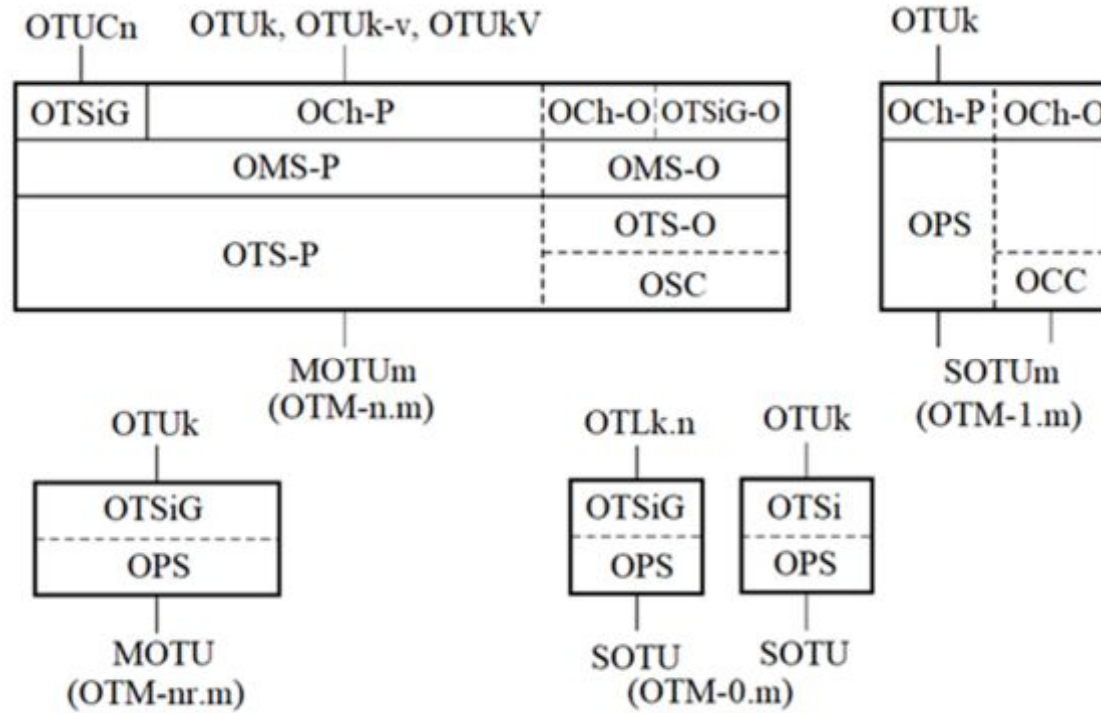
FC, Fibre Channel, оптический канал (100, 200 Мбит/с и более) для передачи данных (американский стандарт);

IB, InfiniBand, не ограниченной полосы;

IP, Internet Protocol, межсетевой протокол;

MPLS, Multi Protocol Label Switching, многопротокольная коммутация по меткам.

Структура оптических интерфейсов OTN/OTN по рек. G.709. Оптическая часть



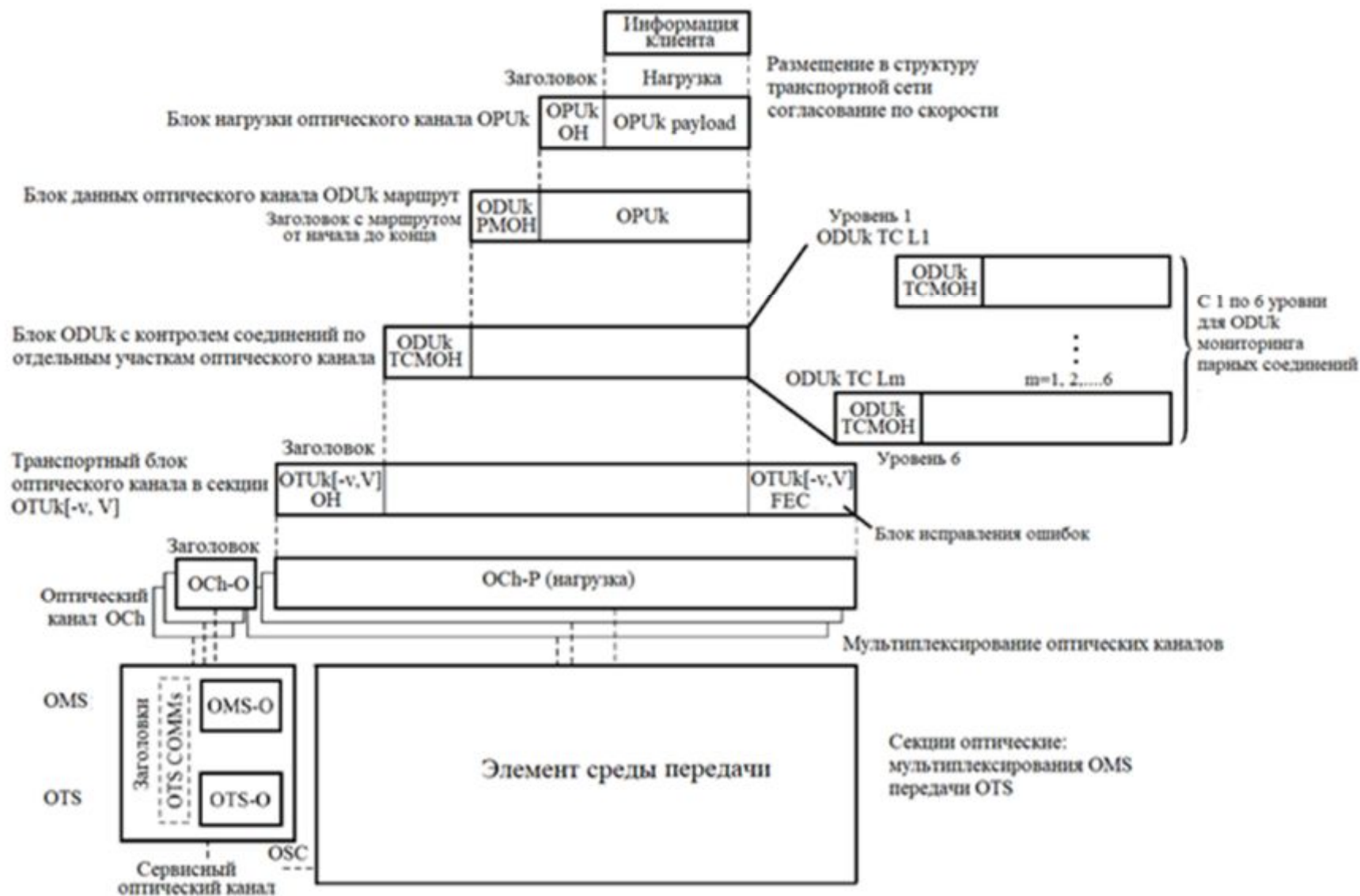
Структура оптических интерфейсов OTN/OTH по рек. G.709. Оптическая часть

- В структурах **оптической части интерфейсов обозначено:**
- OTSi, Optical Tributary Signal – оптический компонентный сигнал;
- OTSiG, Optical Tributary Signal Group – группа оптических компонентных сигналов;
- OTSiG-O, Optical Tributary Signal Group – Overhead – заголовок группы компонентных оптических сигналов;
- OCh-P, Optical Channel payload – нагрузка оптического канала;
- OCh-O, Optical Channel Overhead – заголовок оптического канала;
- OMS-P, Optical Multiplex Section payload – нагрузка оптической секции мультиплексирования;
- OMS-O, Optical Multiplex Section Overhead – заголовок оптической секции мультиплексирования;
- OTS-P, Optical Transmission Section payload – нагрузка оптической секции передачи;
- OTS-O, Optical Transmission Section Overhead – заголовок оптической секции передачи;
- OSC, Optical Supervisory Channel – оптический сервисный канал для передачи служебных данных;
- OPS, Optical Physical Section – оптическая физическая секция;
- OCC, Overhead Communication Channel – заголовок канала связи;
- MOTU (OTM-nr.m), MOTUm (OTM-n.m), Multi-OTU with management – многоволновый оптический интерфейс и интерфейс с управлением (в скобках приведены обозначения 1-4 версий G.709 для оптических транспортных модулей с числом каналов n и нагрузкой цифровыми блоками 1,2,3,4 и их комбинациями 1,2; 2,3; 1,2,3,4 и т.д.; nr обозначает отсутствие сервис-канала OSC);
- SOTU (OTM-0.m), SOTUm (OTM-1.m), Single-OTU with management – одноволновый оптический интерфейс и интерфейс с управлением (в скобках приведены обозначения 1-4 версий G.709);
- OTLk.n, group of n Optical Transport Lanes that carry one OTUk – группа из n оптических транспортных линий, переносящих один блок OTUk (OTU3, OTU4).

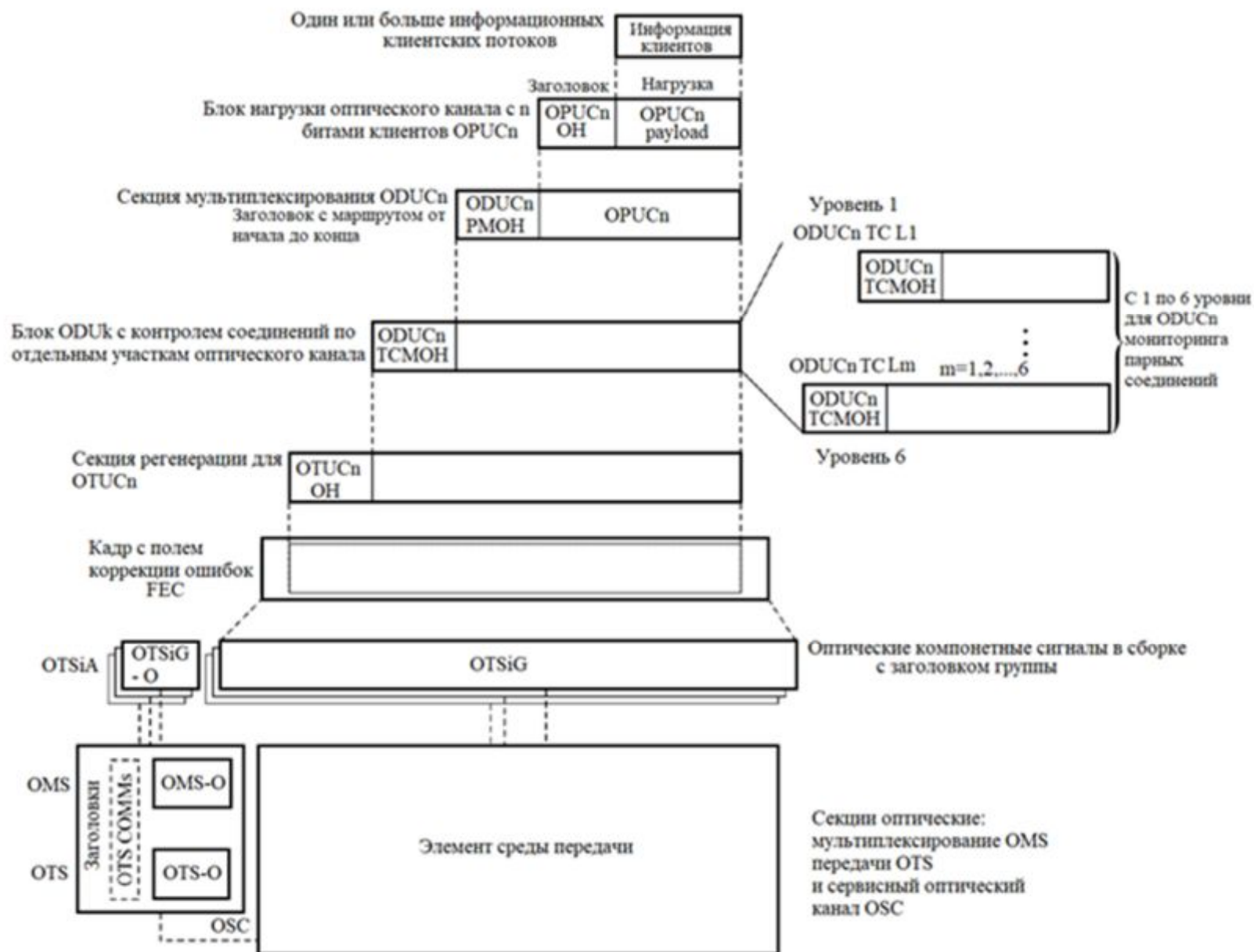
Структура оптических интерфейсов OTN/OTN по рек. G.709. Информационная часть

- Формируемые в цифровой части интерфейса циклические блоки OTUk (OTUk.n, OTUk-v, OTUkV) в оптической части через модуляцию размещаются на оптических несущих частотах, генерируемых лазерами, с последующим возможным мультиплексированием оптических сигналов и передач в элементе среды (чаще всего в одномодовом оптическом волокне). Варианты информационных наполнений интерфейсов OTN представлены ниже (6 вариантов).
- В информационных наполнениях различных оптических интерфейсов OTN показан ряд связанных ступеней формирования блоков данных с клиентской нагрузкой и заголовков сопровождения для различных участков сети (секции передачи, секции мультиплексирования и т.д.)
- В среде передачи формируются оптические спектральные каналы OCh для переноса информационной нагрузки в секциях передачи и мультиплексирования (OMS, OTS) и сервисные каналы служебного назначения (OSC).

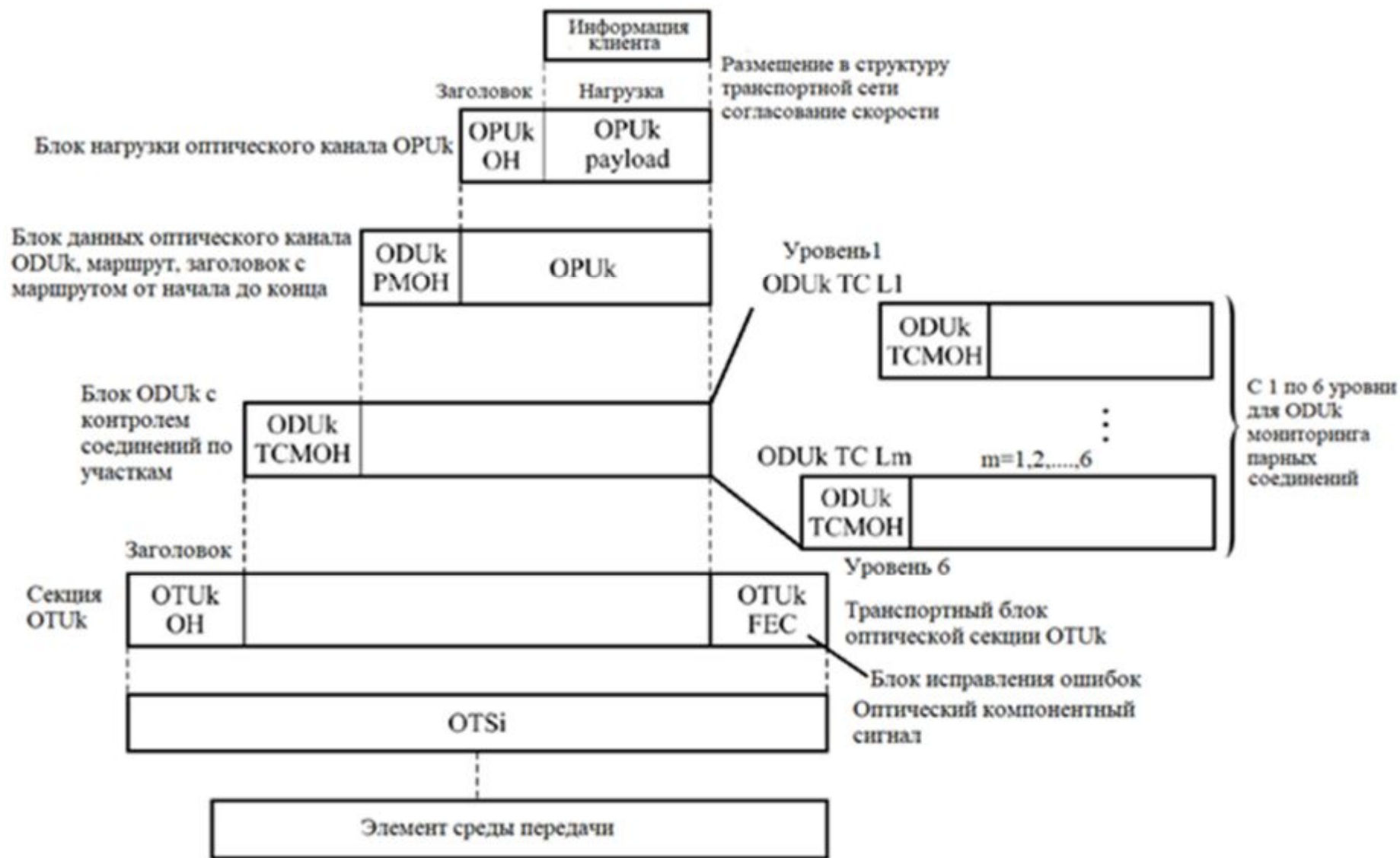
Информационная модель относительно содержания интерфейса MOTOm



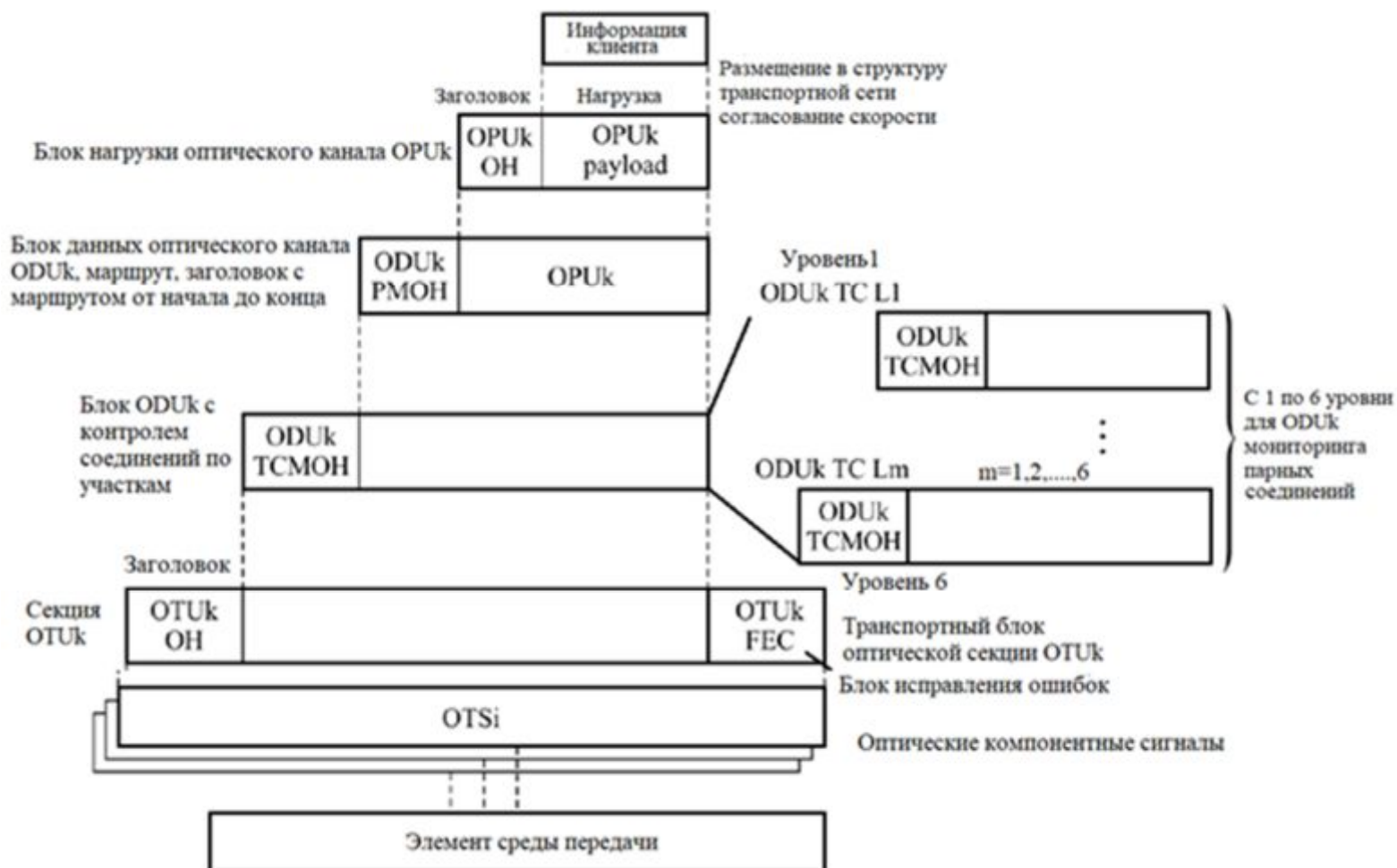
Информационная модель относительно содержания интерфейса B100G MOTUm



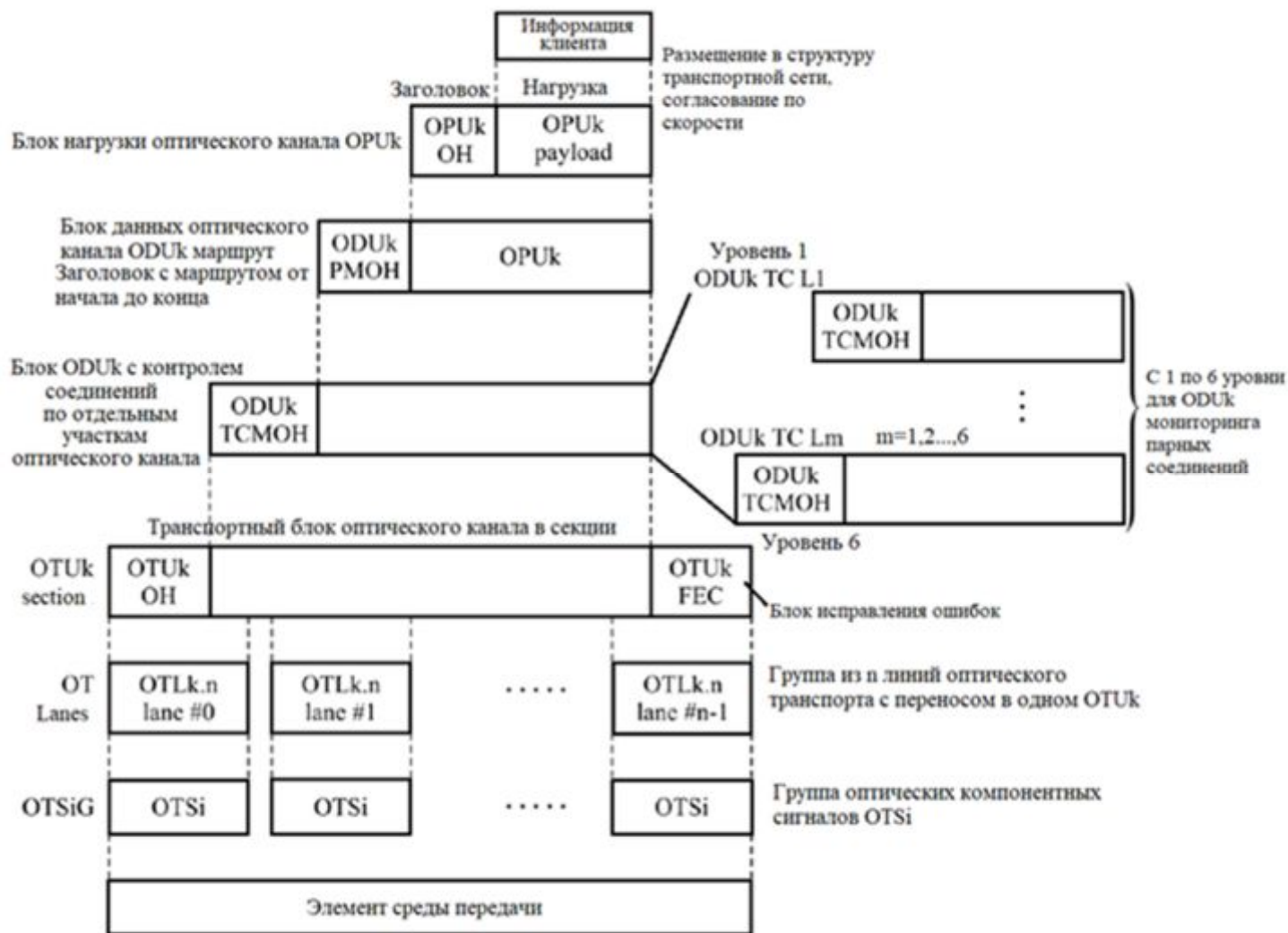
Информационная модель относительно содержания интерфейса SOTU, одиночный спектральный канал с нагрузкой от одного клиента



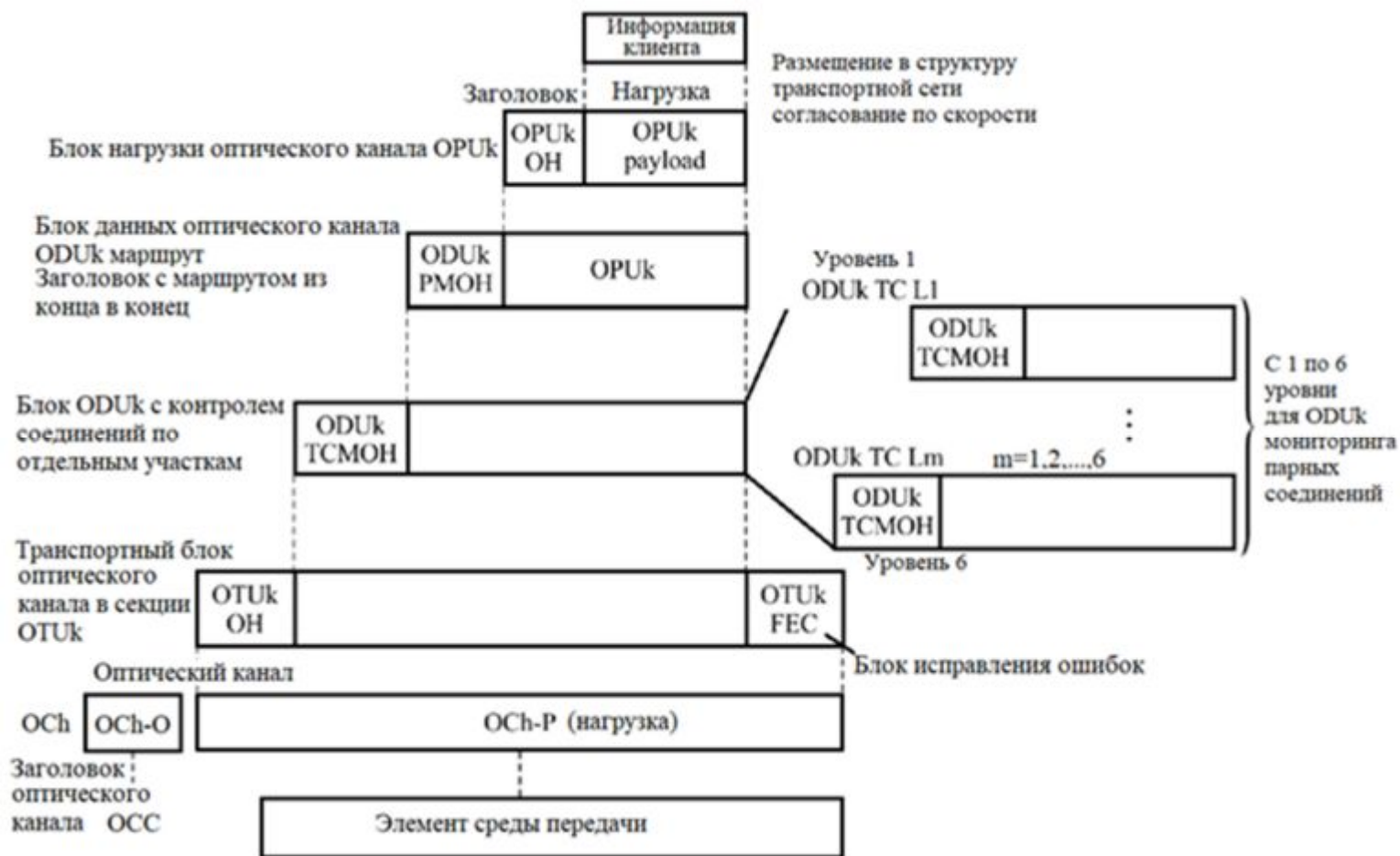
Информационная модель относительно содержания интерфейса MOTU, множество спектральных каналов с индивидуальной нагрузкой от клиентов



Информационная модель относительно содержания интерфейса multi-lane SOTU, один информационный канал клиента поддерживается несколькими спектральными



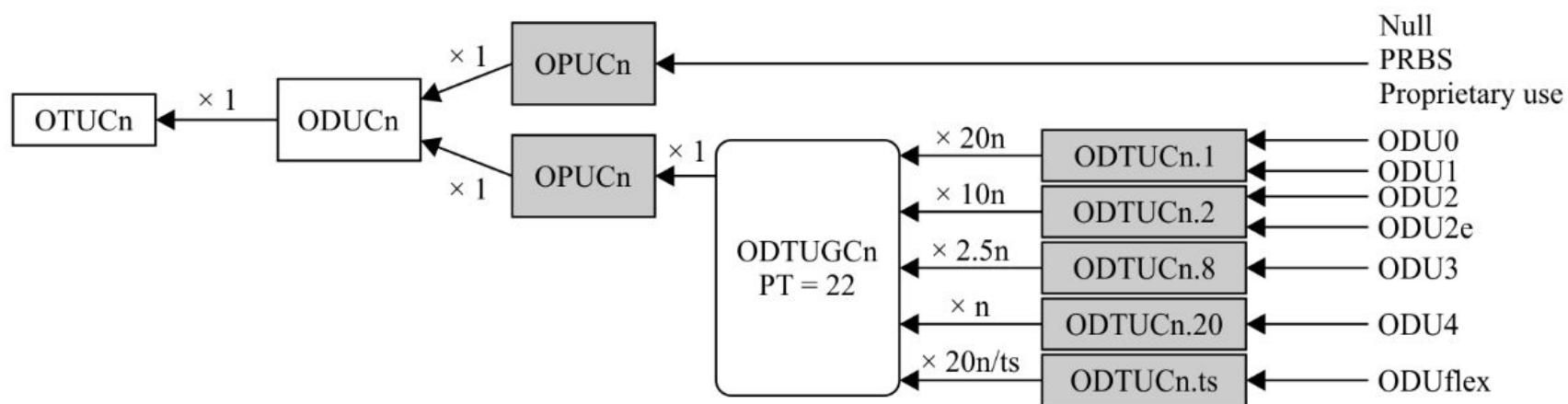
Информационная модель относительно содержания интерфейса SOTUm, одиночный спектральный канал для клиента с поддержкой канала управления



Варианты схем цифрового размещения и мультиплексирования

- На ряде последующих рис. представлены различные варианты соотношений между информационными структурами (OPU, ODU, OTU и др.), размещением нагрузок, мультиплексированием и формированием заголовков вплоть до структур OTUk, с оснащением блоками исправления ошибок FEC (например, кодирование Рида-Соломона, RS для протяженных каналов) или без такового (нулевое заполнение для коротких дистанций каналов). В многофункциональных (универсальных) сетях OTN каждая комбинация блоков данных оптических каналов ODU уровня мультиплексирования соотносится с оборудованием или областью применения.
- На рисунках показаны варианты размещения сигналов клиентов (информации клиентов – пользователей транспортной сети), не относящихся к сети OTN, в структуры блоков OPUk ($k=0,1,2,3,4$, flex). Далее OPU сигнал входит (ассоциируется) в блок ODU. В свою очередь сигнал ODU ассоциируется в блок OTU или размещаются с другими блоками ODU в блоки ODTU для последующего мультиплексирования в групповые блоки ODTUG. Сигналы ODTUG размещаются в блоки нагрузки оптических каналов OPU более высокого уровня, например, $ODU1 \rightarrow ODTU13 \rightarrow ODTUG3 \rightarrow OPU3$. Блоки OPUCn имеют отличающуюся информационную структуру от OPUk. В OPUCn информационная структура состоит из n временных блоков OPU, в то время как OPUk представляет собой моноблок. Скорости передачи блоков OTUk и их периодичность приведены в табл.2.
- Отдельную группу цифровой передачи поддерживают блоки оптических транспортных линий OTL (Optical Transport Lanes): OTL3.4 и OTL4.4. Они предусматривают организацию 4-х параллельных линий для передачи цифровых потоков на скоростях 10754603,39 кбит/с (OTL3.4) и 27952493,392 кбит/с (OTL4.4). Это используется на коротких соединительных линиях в сетях Ethernet до 40 км с одномодовыми волокнами стандарта G.652a,b,c,d и реализуется относительно простыми модулями CFP, QSFP со спектральным мультиплексированием CWDM, например, интерфейсом 100GBase-LR4.

Формирование цифровых блоков OTUCn



- формирование заголовков



- мультиплексирование

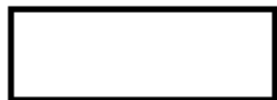
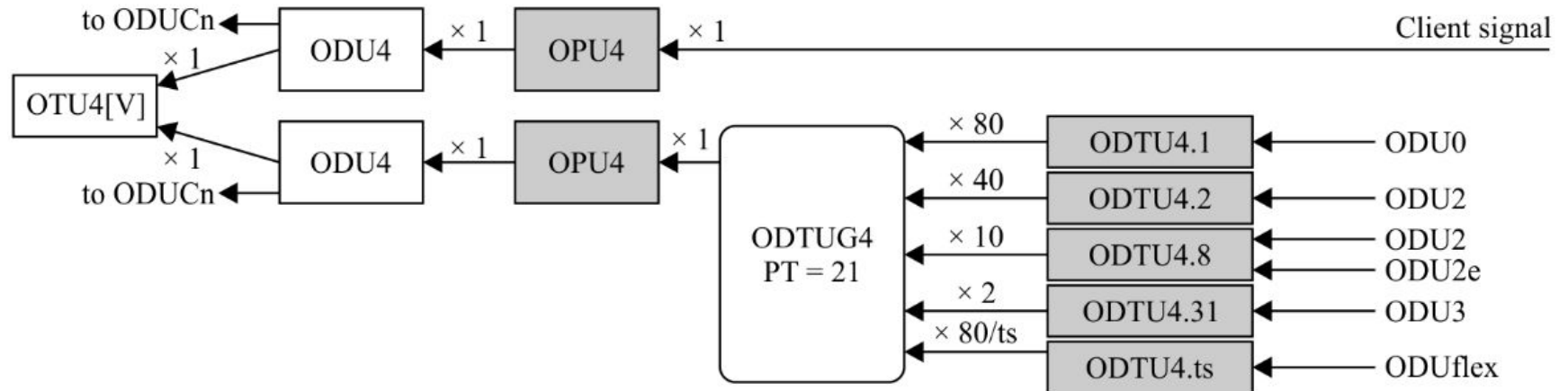


- размещение

ts, tributary slots - компонентные интервалы времени

Формирование цифровых блоков OTU4

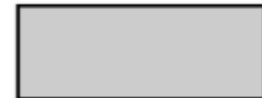
OTL type	OTL nominal bit rate	OTL bit-rate tolerance
OTL3.4	4 lanes of $255/236 \times 9\,953\,280$ kbit/s	± 20 ppm
OTL4.4	4 lanes of $255/227 \times 24\,883\,200$ kbit/s	



- формирование заголовков

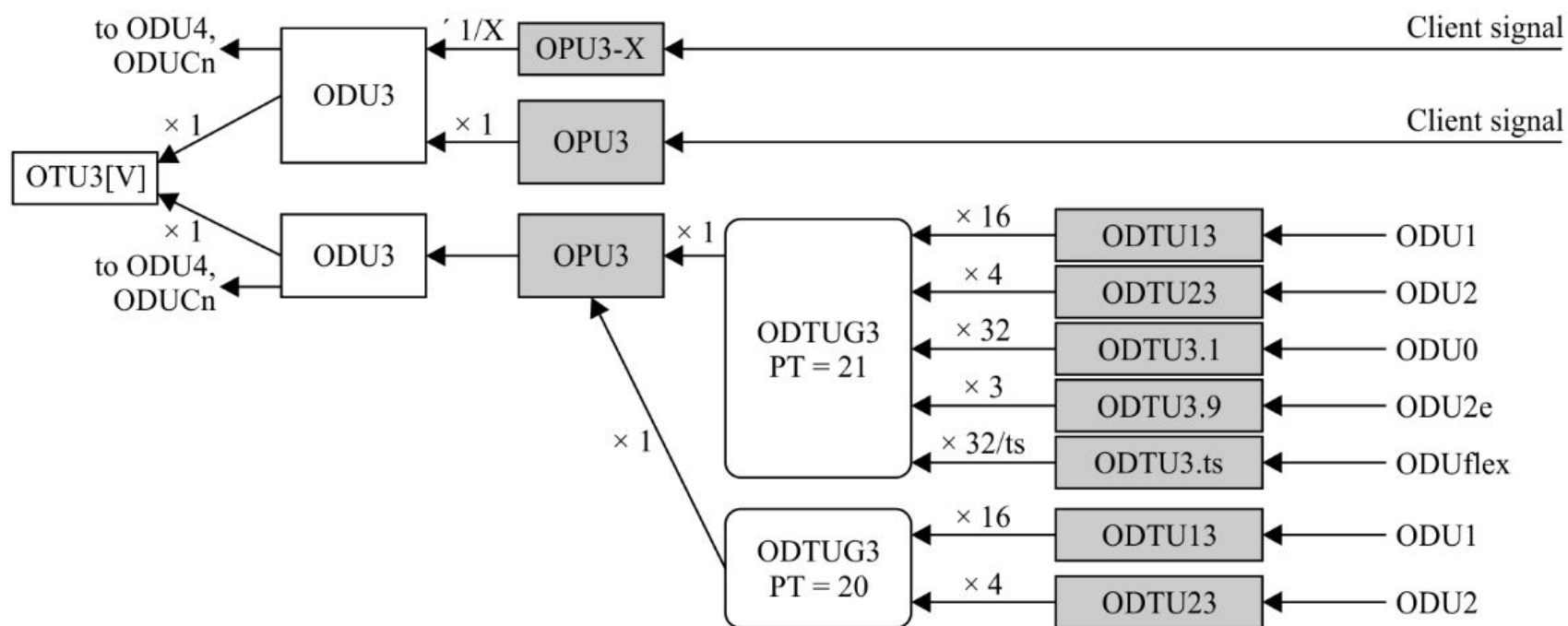


- мультиплексирование



- размещение

Формирование цифровых блоков OTU3



- формирование заголовков

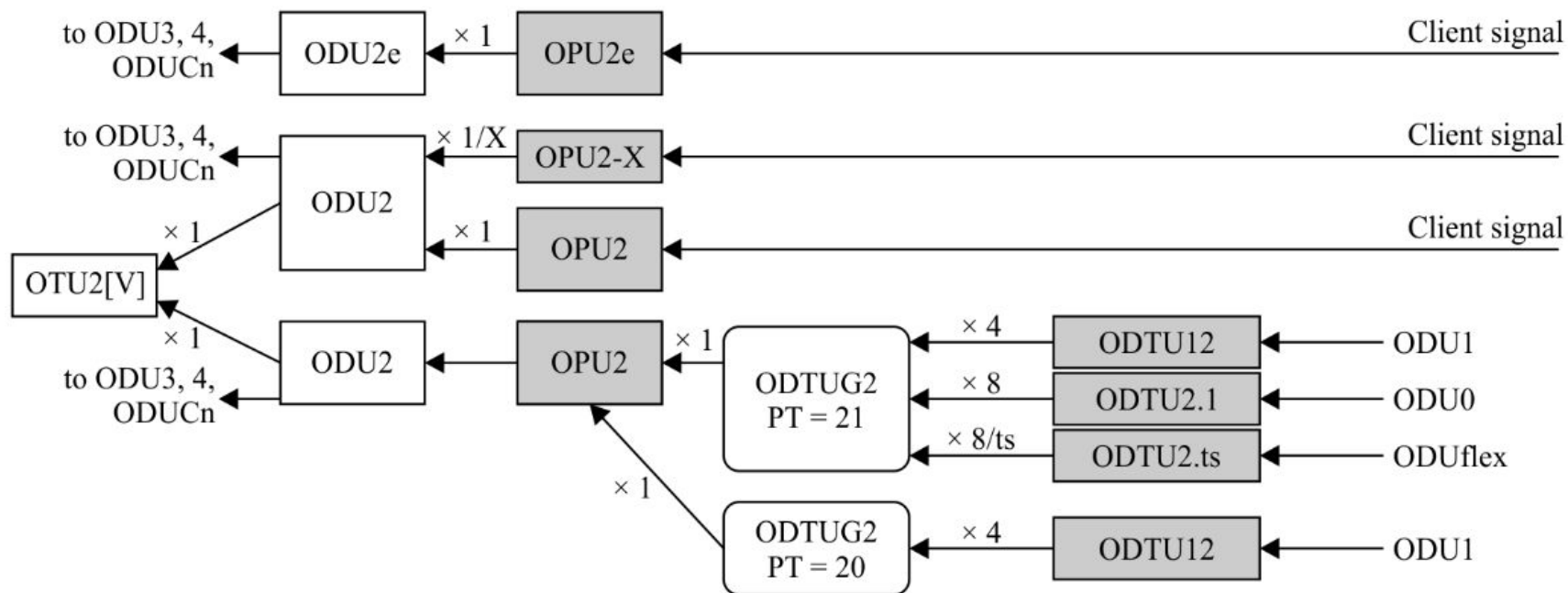


- мультиплексирование



- размещение

Формирование цифровых блоков OTU2



- формирование
заголовков

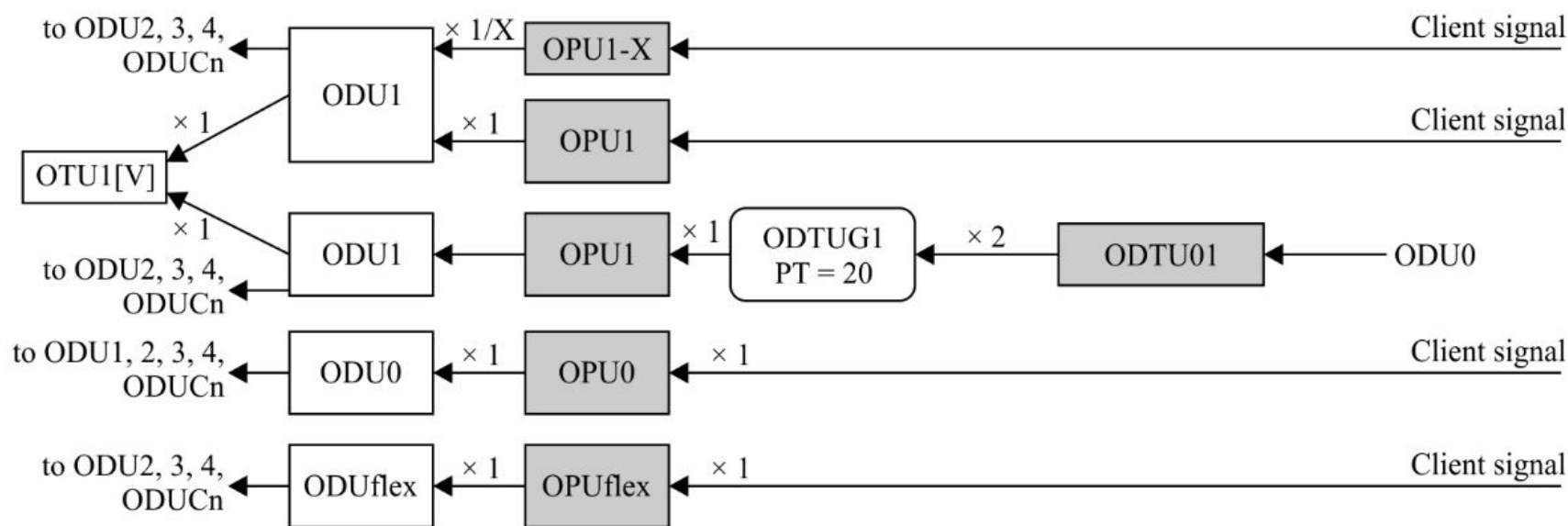


- мультиплексирование



- размещение

Формирование цифровых блоков OTU1



Скоростные режимы цифровых блоков (табл.2)

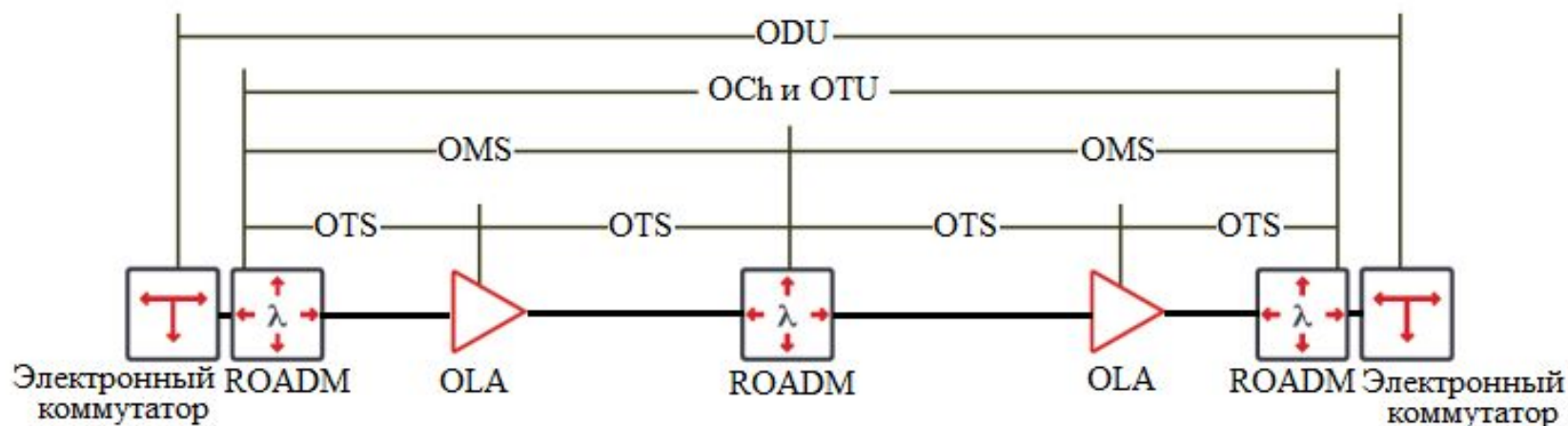
Тип OTU/ODU/OPU	Номинал фиксированной скорости	Период, мкс	Допустимое отклонение битовой скорости
ODU0/ OPU0	1 244 160/ $238/239 \times 1\,244\,160 =$ 1 238 954.310 кбит/с	98,354	±20 ppm
OTU1/ODU1/OPU1	$255/238 \times 2488320 = 2666057,143$ кбит/с	48,971	±20 ppm
OTU2/ODU2/OPU2	$255/237 \times 9953280 = 10709225,316$ кбит/с	12,191	±20 ppm
OTU3/ODU3/OPU3	$255/236 \times 39813120 = 43018413,599$ кбит/с	3,035	±20 ppm
OTU4/ODU4/OPU4	$255/227 \times 99532800 = 111809973,568$ кбит/с	1,168	±20 ppm
ODU2e/OPU2e	$239/237 \times 10\,312\,500 /$ $238/237 \times 10\,312\,500$ кбит/с	11,767	±100 ppm
OTUCn/ODUCn/ OPUCn	$n \times 239/226 \times 99532800 =$ $n \times 105258138,053$ кбит/с	1,163	±20 ppm
ODUflex/OPUflex:	Гибкие скорости	-	-
1. OPUflex для сигналов с фиксированными скоростями клиента	Постоянная скорость CBR сигналов от клиентов: 121856/сигналов битовых скоростей	-	±100 ppm
2.OPUflex для GFP-F протокола с размещением сигналов клиента	Размещение клиентских сигналов в кадре по протоколу GFP-F: 122368/ODUflex битовых скоростей	-	±100 ppm
3.OPUflex для IMP протокола с размещением сигналов клиента	Размещение клиентских сигналов по протоколу IMP: 122368/ODUflex битовых скоростей. $s \times 5\,156\,250$ кбит/с $s=2,8, n \times 5$ с $n > 1$	-	±100 ppm
4.OPUflex для FlexE-aware протокола с размещением сигналов клиента	FlexE-aware клиентские сигналы: 122368/ODUflex битовых скоростей $103125000 \times 240/239 \times n/20$ кбит/с	-	±100 ppm

Варианты схем цифрового размещения и мультиплексирования

- Процедуры размещения сигналов от клиентов транспортной сети предусмотрены в нескольких вариантах реализации: на фиксированной скорости CBR (Constant Bit Rate); с предварительным размещением в кадры GFP-F (Generic Framing Procedure – Frame, общая процедура формирования кадра с выравниванием пакетов при загрузке); с предварительным размещением в кадры IMP (Idle Mapping Procedure, свободная процедура размещения) $n \times 25$ Гбит/с ($n=1,2,3\dots$) пакетов Ethernet на скорости от 10 до 40 Гбит/с или блоками типа S; с гибким размещением гибких потоков Ethernet (FlexE-aware, от 1 до 254 100GBASE-R Ethernet PHY) в 20 слотах с градацией 5 Гбит/с.
- Во всех вариантах CBR при согласовании скоростей учитываются вариации скоростей (± 20 ppm; ± 100 ppm и др.), которые могут компенсироваться выравнивающими байтами в структурах OPU. При размещении структур GFP-F и IMP необходимости в дополнительном согласовании скоростей нет, т.к. кадры побайтно синхронны с OPUk при выполнении требований по тактовым согласованиям.

Структурная схема соединений в сети OTN/OTN

- Для обслуживания всех участков оптической сети, образуемой секцией передачи OTS с оптическими усилителями OLA, секцией мультиплексирования OMS, отдельными оптическими каналами OCh, цифровыми транспортными блоками OTU с точками 3R регенерации (восстановления амплитуды, формы и временных позиций сигнала), цифровыми блоками обслуживания клиентского сигнала из конца в конец ODU, предусмотрены цифровые заголовки, размещаемые в блоках ODU, OTU и в отдельном оптическом сервисном канале OSC для OTS, OMS и информационных каналов OCh (рис.).



OTS - секция оптической передачи с мониторингом между всеми сетевыми элементами

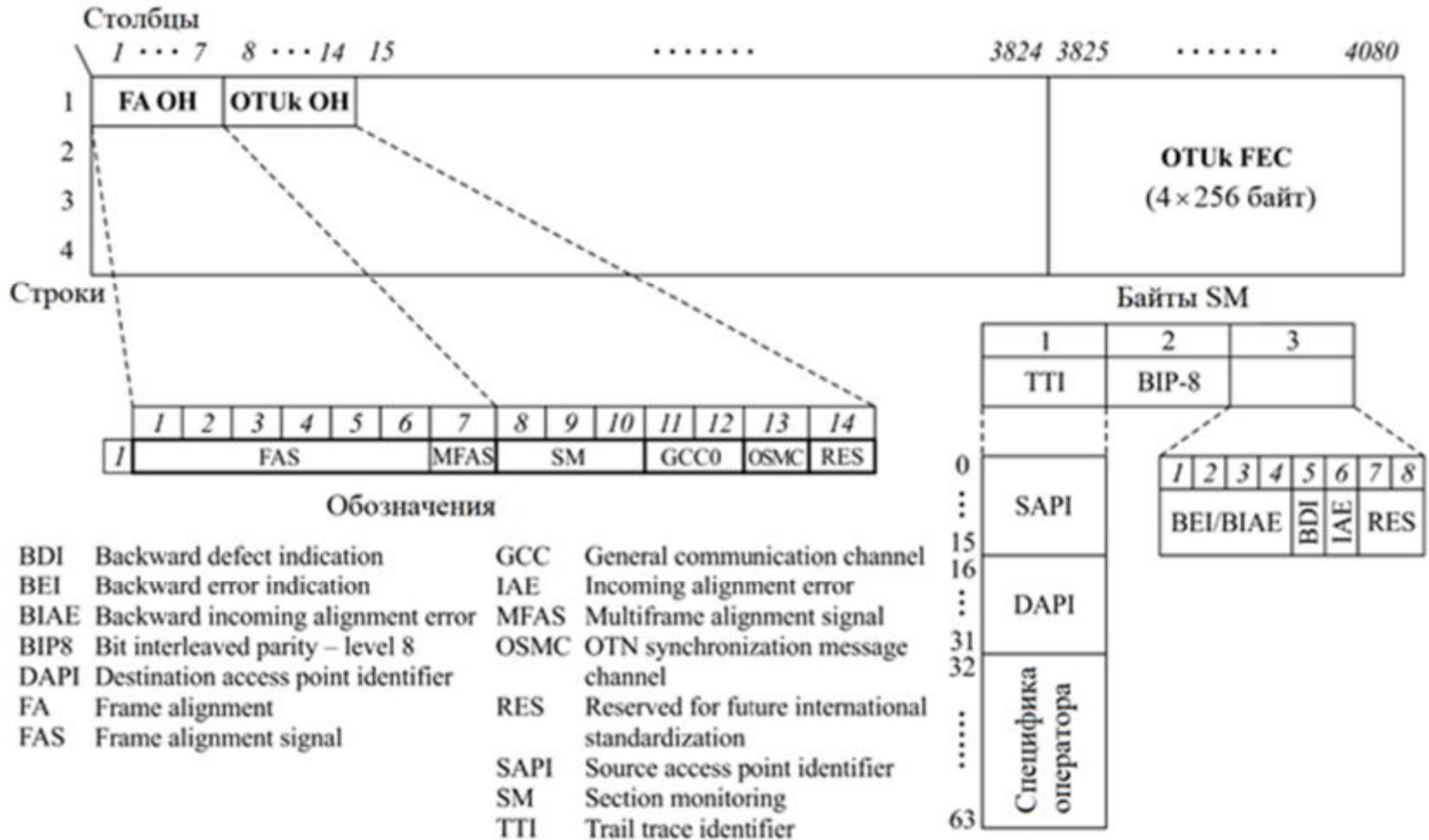
OMS - секция оптического мультиплексирования с мониторингом между мультиплексорами (ROADM)

OCh - оптический канал с сигналом клиента между точками 3R регенерации

OTU - мониторинг соединения в транспортном цифровом блоке между электронными коммутаторами

ODU - мониторинг соединения из конца в конец для клиента с услугами в волновом тракте

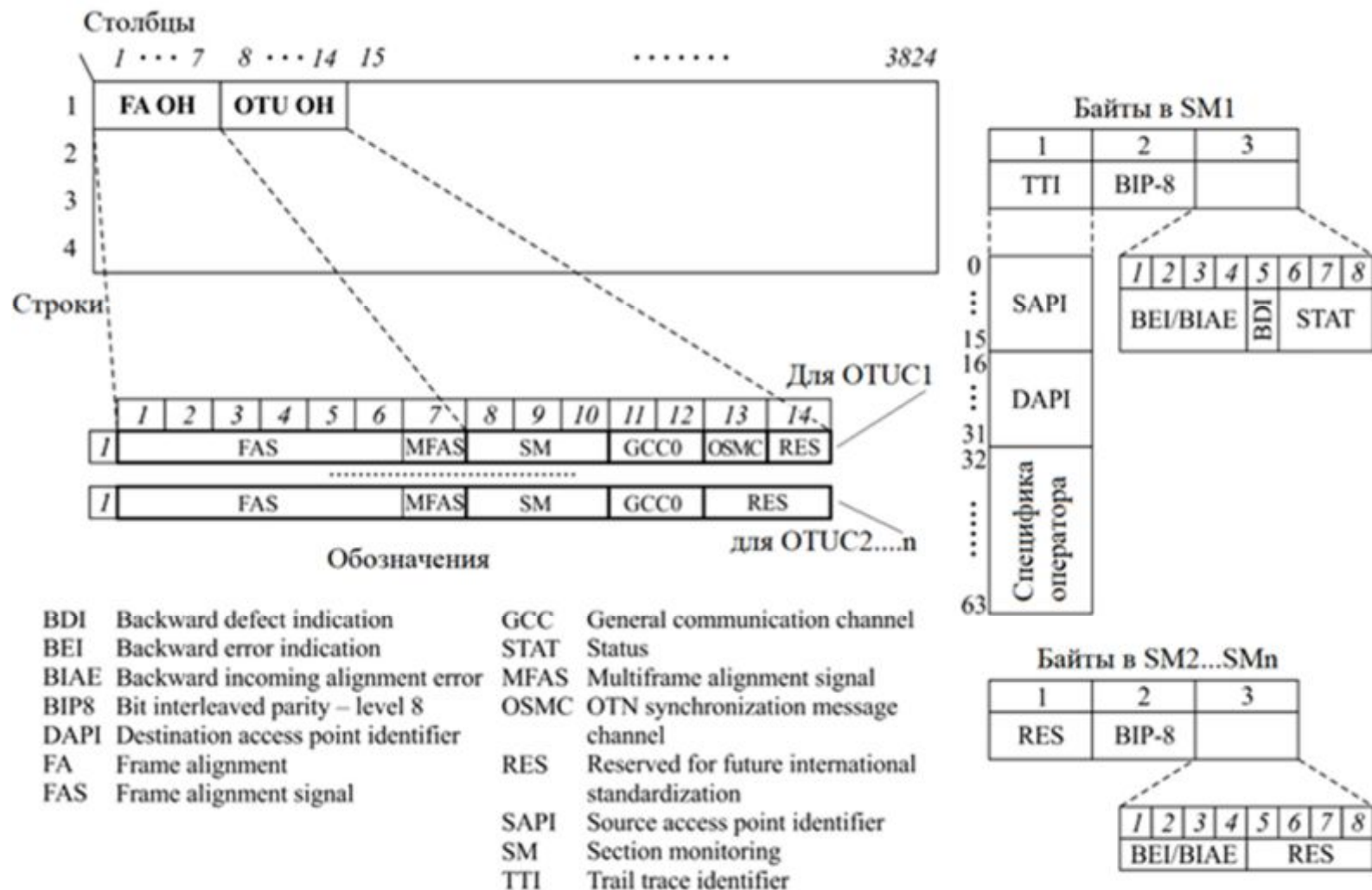
Заголовки цифровых блоков OTUk OH



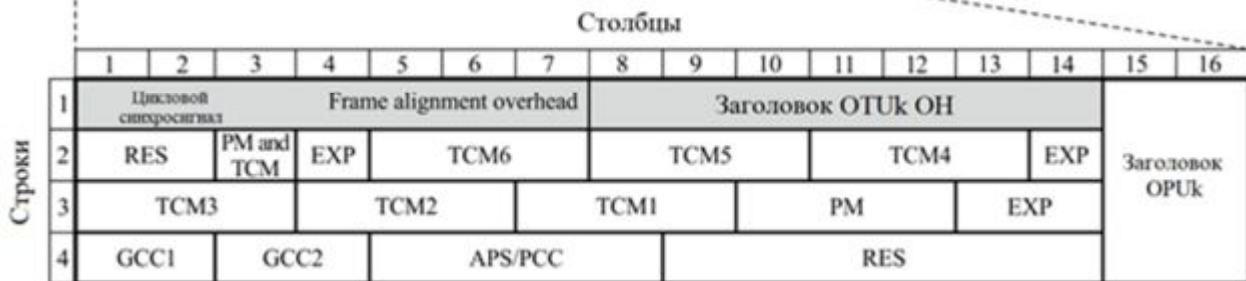
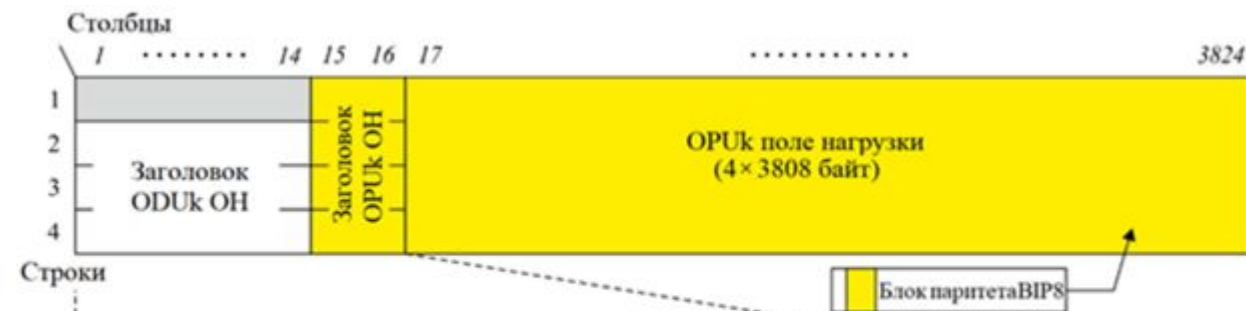
Заголовки цифровых блоков OTUk, OTUCn OH

- В заголовке OTUk, OTUCn обозначено:
- BDI – индикация дефектного состояния в обратную сторону (к противоположному передатчику);
- BEI – индикация ошибок в обратную сторону;
- BIAE – ошибка выравнивания по входящему сигналу в обратную сторону;
- BIP8 – чётность чередующихся битов уровня 8;
- DAPI – идентификатор точки доступа адресата;
- FA – выравнивание цикла (цикловая синхронизация);
- FAS – сигнал выравнивания цикла;
- GCC – общий канал связи (в заголовке OTUk GCC0, в заголовке ODUk GCC1, GCC2) – применяется для управления в оптической сети;
- IAE – ошибка выравнивания по входу;
- MFAS – сигнал выравнивания (синхронизации) мультифрейма (сверхцикла);
- OSMC – канал сообщения синхронизации оптической транспортной сети поддерживает скорости передачи сообщений: OTU1 – 163,361 кбит/с, OTU2 – 656,203 кбит/с, OTU3 – 2635,932 кбит/с, OTU4 – 6851,101 кбит/с, OTUCn – 6881,418 кбит/с;
- RES – резерв;
- SAPI – идентификатор точки доступа к сервису;
- SM – наблюдение секции;
- TTI – идентификатор маршрута тракта.

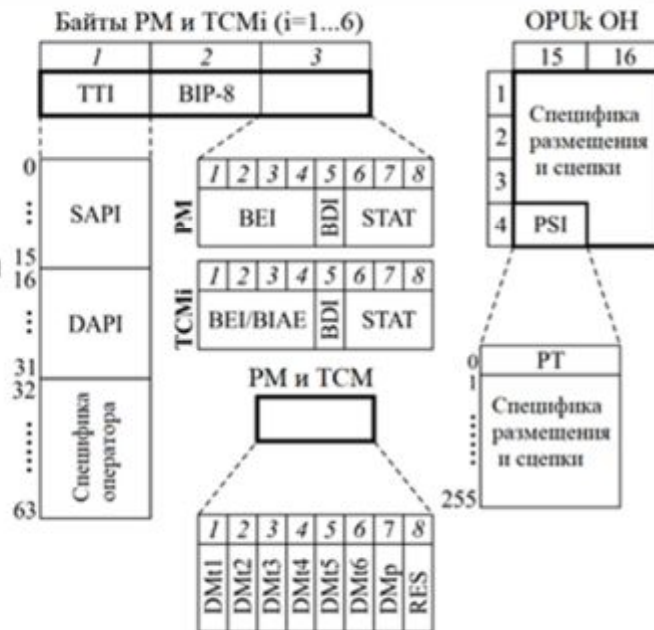
Заголовки цифровых блоков OTUk, OTUCn OH



Заголовки блоков ODUk и OPUk



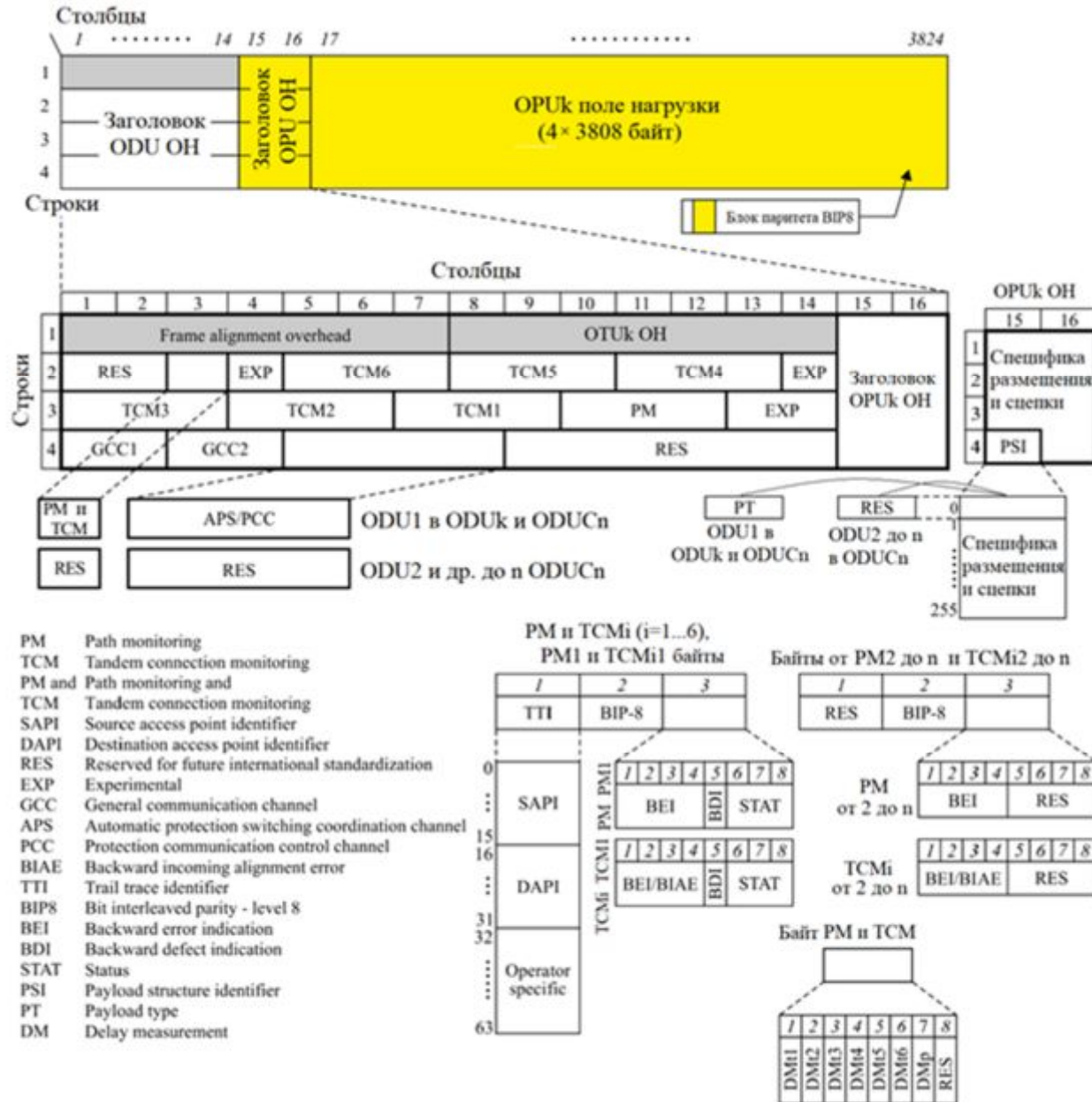
- PM Path monitoring
- TCM Tandem connection monitoring
- PM and Path monitoring and
- TCM Tandem connection monitoring
- SAPI Source access point identifier
- DAPI Destination access point identifier
- RES Reserved for future international standardization
- EXP Experimental
- GCC General communication channel
- APS Automatic protection switching coordination channel
- PCC Protection communication control channel
- BIAE Backward incoming alignment error
- TTI Trail trace identifier
- BIP8 Bit interleaved parity - level 8
- BEI Backward error indication
- BDI Backward defect indication
- STAT Status
- PSI Payload structure identifier
- PT Payload type
- DM Delay measurement



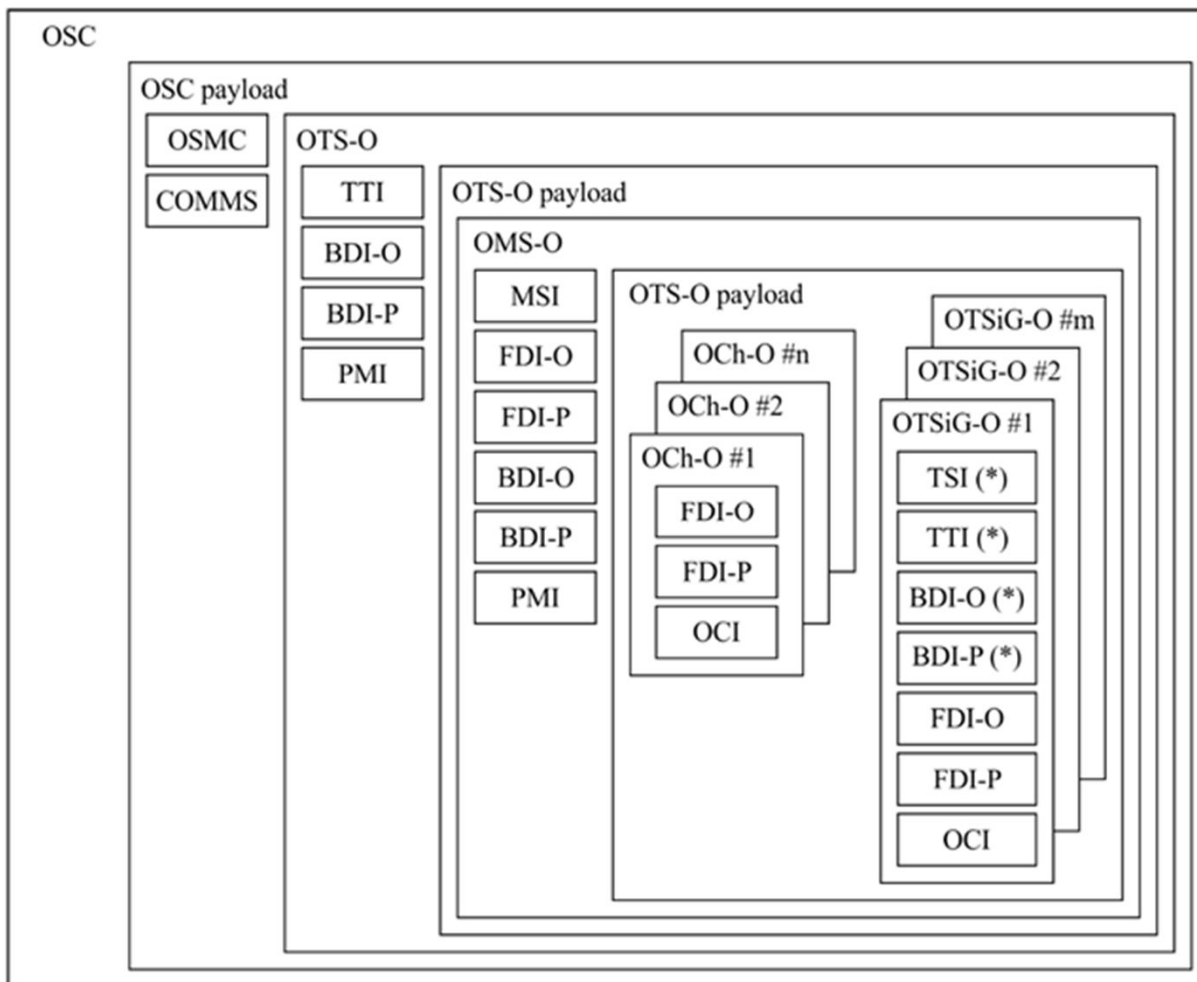
Заголовки цифровых блоков ODUk и OPUk, ODUCn и OPUCn

- В заголовках блоков ODUk и OPUk обозначено:
- PM – наблюдение тракта;
- TCM – наблюдение (мониторинг) тандемного соединения;
- PM и TCM – наблюдение тракта и тандемного соединения; SAPI – идентификатор точки доступа к сервису;
- DAPI – идентификатор точки доступа адресата;
- RES – резерв;
- EXP – эксперимент;
- GCC – общий канал связи;
- APS – автоматическое защитное переключение координированного канала;
- PCC – канал управления защитной коммутацией;
- BIAE – сообщение об ошибке выравнивания по входу в обратное направление;
- TTI – идентификатор маршрута тракта;
- BIP8 – чётность чередующихся битов уровня 8;
- BEI – индикация ошибок в обратную сторону;
- BDI – индикация дефектного состояния в обратную сторону (к противоположному передатчику);
- STAT – статус (состояние объекта);
- PSI – идентификатор структуры нагрузки;
- PT – тип нагрузки;
- DM – задержка измерения для тандемных соединений и соединений из конца в конец для ODU (DMt, Delay Measurement of TCMi, DMp, Delay Measurement of ODUk path).

Заголовки блоков ODU_{Cn} и OPUC_n



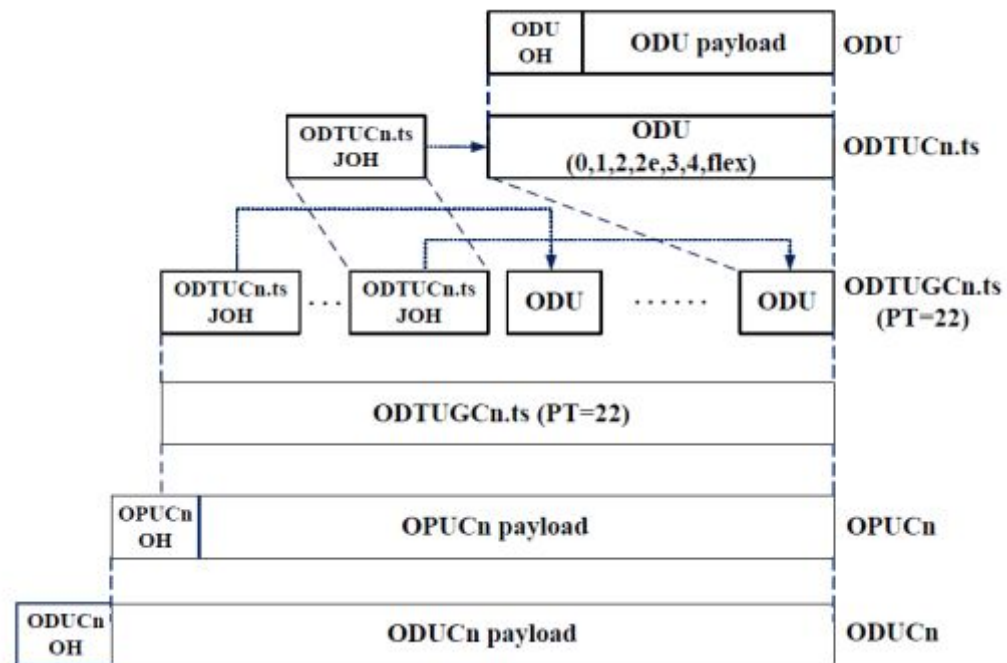
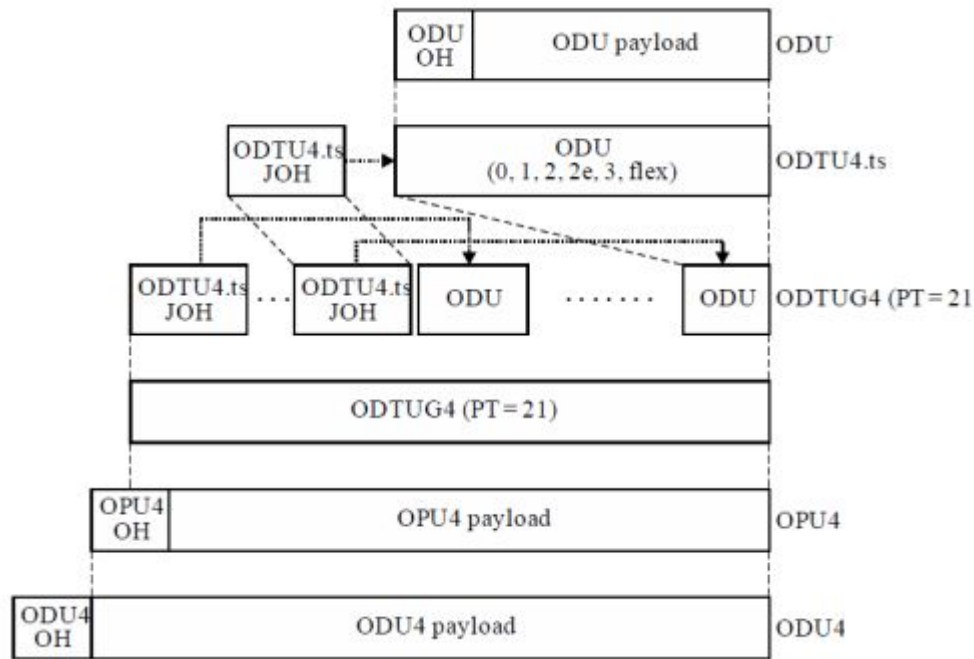
Цифровые заголовки в оптическом сервисном канале служебного назначения OSC, организуемом на отдельной волне



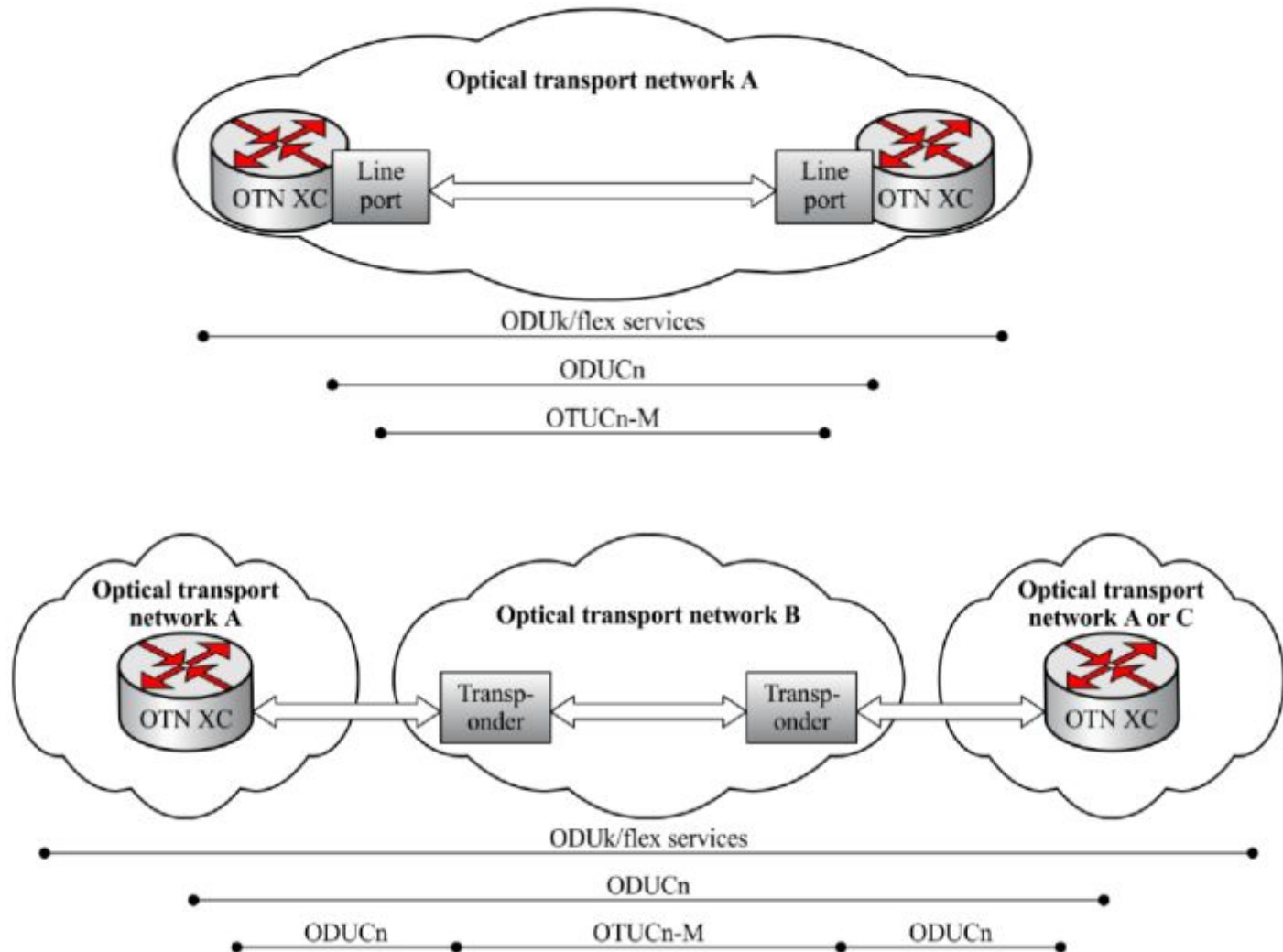
Цифровые заголовки в оптическом сервисном канале служебного назначения OSC, организуемом на отдельной волне

- В заголовках OSC обозначено:
- OSC payload, Optical Supervisory Channel payload – полезная нагрузка оптического сервисного канала;
- OSMC, OTN Synchronization Messaging Channel - канал сообщения синхронизации оптической транспортной сети используется для трансляции сообщений о качестве источника синхросигнала сети SSM (Synchronization Status Message) на первом (физическом) уровне для SDH, OTN, GFP-F и протокола синхронизации на втором (канальном) уровне PTP (Precision Time Protocol) для Ethernet, GFP-F, TP-MPLS;
- COMMS, general management communications – связь общего управления в интересах оператора сети;
- OTS-O, Optical Transmission Section Overhead – заголовок оптической секции передачи;
- TTI, Trail Trace Identifier - идентификатор маршрута тракта;
- BDI-O, Backward Defect Indication Overhead – заголовок индикации дефектного состояния в обратную сторону (к противоположному передатчику);
- BDI-P, Backward Defect Indication Payload – полезная нагрузка индикации дефектного состояния в обратную сторону (к противоположному передатчику);
- PMI, Payload Missing Indication – индикация прохождения полезной нагрузки;
- OMS-O, Optical Multiplex Section Overhead – заголовок оптической секции мультиплексирования;
- MSI, Multiplex Structure Identifier – идентификатор структуры мультиплексирования;
- FDI-O, Forward Defect Indication Overhead – заголовок индикатора дефекта, передаваемого вперёд (к приёмной стороне противоположной станции);
- FDI-P, Forward Defect Indication Payload – полезная нагрузка индикатора дефекта, передаваемого вперёд (к приёмной стороне противоположной станции);
- OTS-O, Optical Transmission Section Overhead – заголовок оптической секции передачи;
- OCh-O, заголовок оптического канала, размещаемый в сервисном канале;
- OCI, Open Connection Indication – индикатор открытого соединения;
- OTSiG-O, Optical Tributary Signal Group – Overhead – заголовок группы компонентных оптических сигналов;
- TSI, Transmitter Structure Identifier – идентификатор структуры передатчика;
- OCI, Open Connection Indication – индикация открытого соединения.

Примеры схем мультиплексирования блока ODU4 и ODUcn из блоков низкого порядка

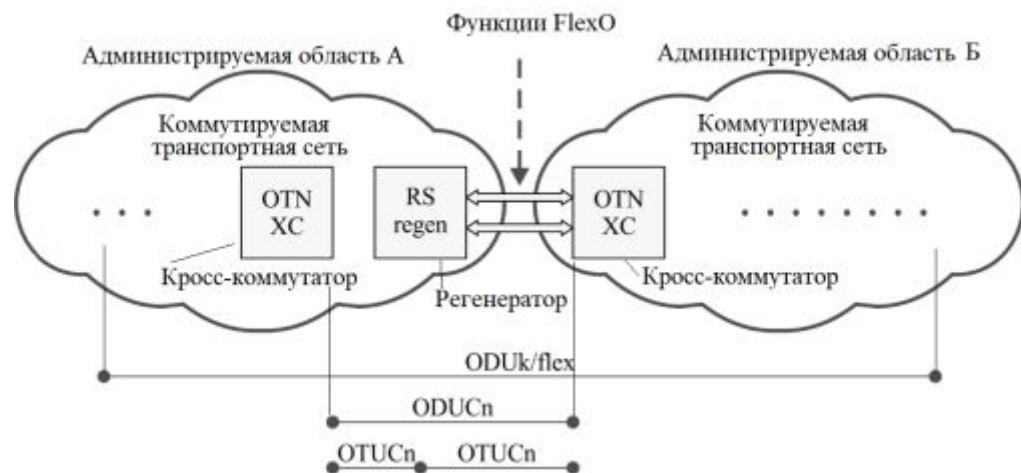
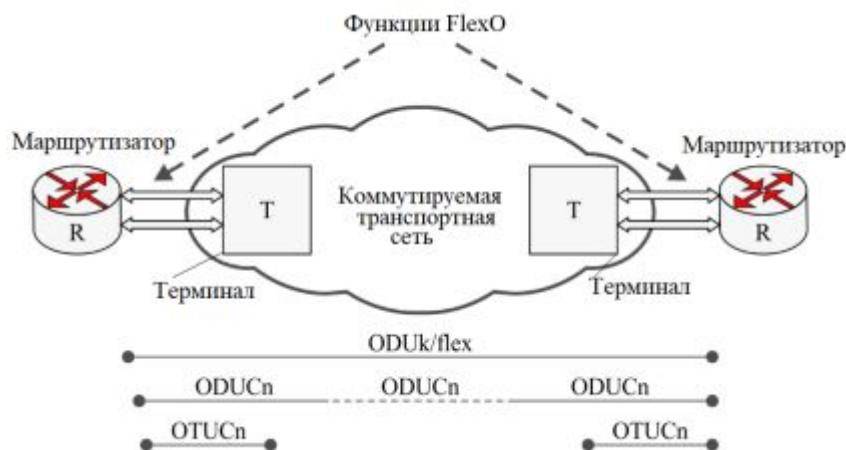


Варианты организации соединений цифровыми блоками OTUk, OTUCn



Гибкие оптические интерфейсы по рекомендации G.709.1

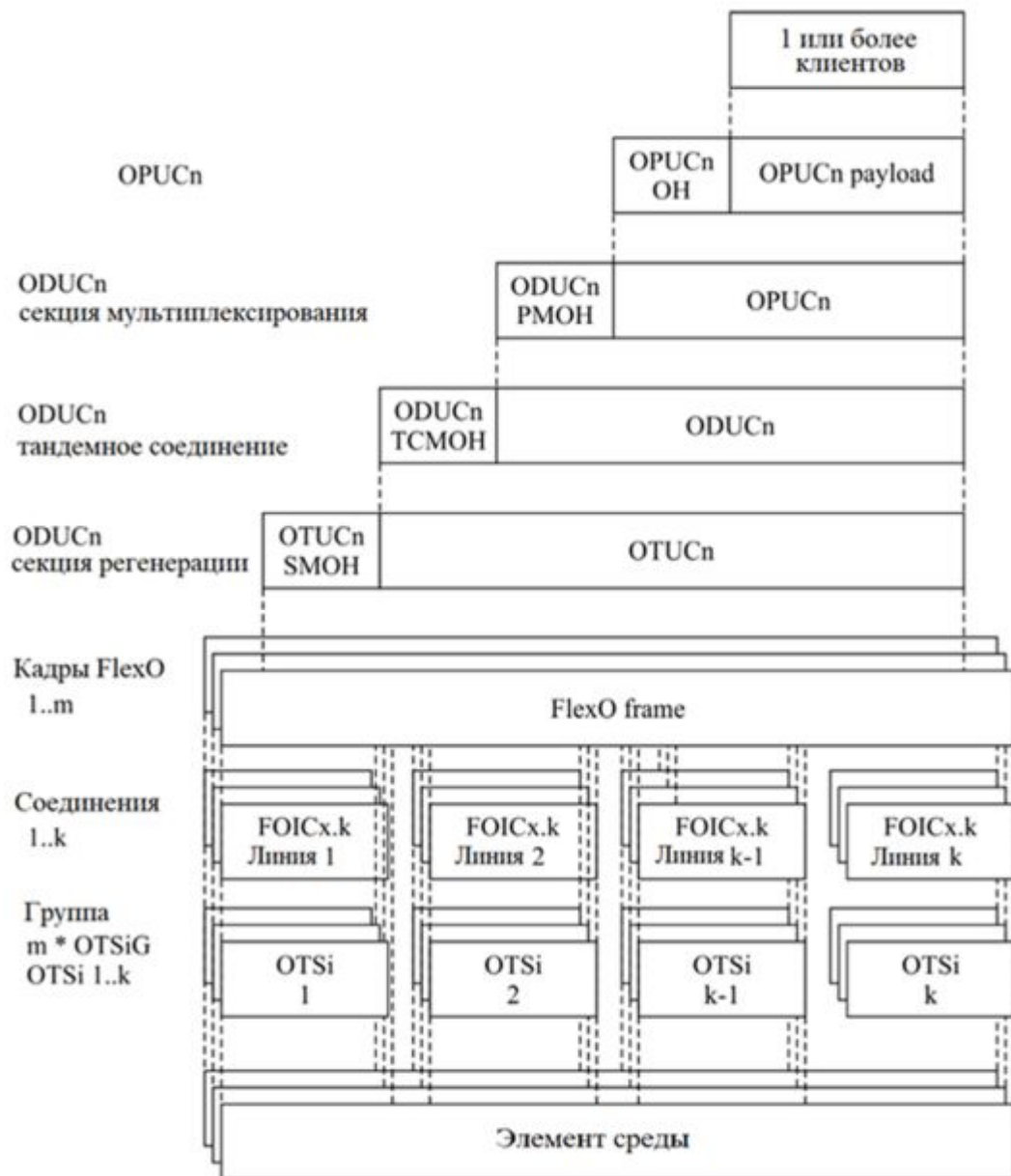
- В рекомендации G.709.1 (Recommendation ITU-T G.709.1/Y.1331.1 (01/2017) Flexible OTN short-reach interface, FlexO) рассматриваются характеристики интерфейсов для коротких дистанций организации связи гибкой оптической сети со скоростями передачи свыше 100 Гбит/с. Эти интерфейсы строятся по схемам и обозначениям, приведённым в рекомендациях G.695 (07/2018) и G.959.1 (07/2018). Группа интерфейсов FlexO дополняет интерфейсы, рассмотренные в G.709 (6/2016), и поддерживает структуры цифровых кадров в интерфейсе B100G OTUCn ($n \geq 1$, $C=100$ Gbit/s), ODUk/flex, но с новыми возможностями на физическом уровне связи, функциями управления и формирования цифрового блока.
- Цель разработки этого стандарта состоит в реализации скоростных режимов передачи 200 Гбит/с, 400 Гбит/с и т.д. для технологии Ethernet. Физическая реализация групповых интерфейсов предусмотрена модулями CFP8. Групповые интерфейсы FlexO можно реализовать в различных сетевых вариантах, например, между терминальными маршрутизаторами или транспортными сетями. При этом OTUCn образует секцию регенерации, а ODUk/flex образует секцию мультиплексирования.



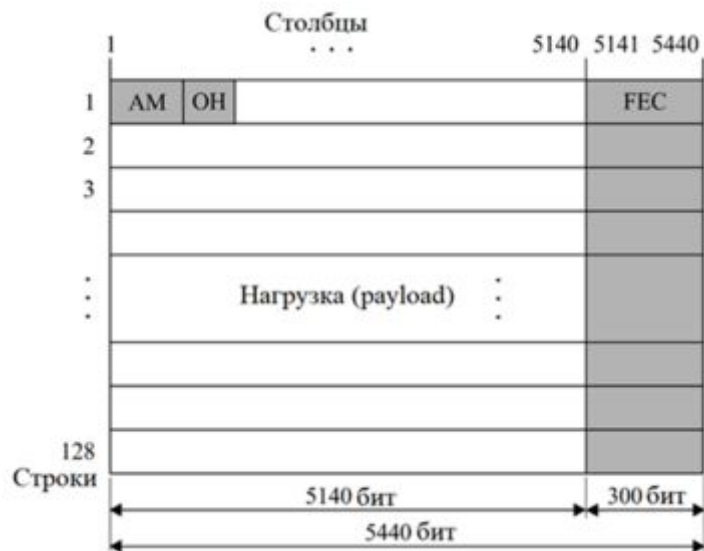
Гибкие оптические интерфейсы по рекомендации G.709.1

- Информационно-сигнальная структура групповых интерфейсов FlexO представлена на рис., где нагрузки от клиентов размещаются последовательно в цифровые блоки OPUCn, ODUCn, OTUCn с образованием секций регенерации и мультиплексирования, и, при необходимости, секций контроля тандемных соединений. Гибко формируемые кадры FlexO (от 1 до m) транслируются в линейные соединения FOIC (FlexO Interface) (от 1 до k), которые могут представлять собой спектральные каналы CWDM, DWDM, объединяемые в группы компонентных оптических сигналов OTSiG для передачи в волоконно-оптической среде.
- Структура кадра для передачи информационных данных представлена на рис. и состоит из 128 строк и 5440 однобитовых столбцов. В начале структуры кадра с первой строки размещается маркер выравнивания AM (frame Alignment Marker), занимающий с 1 по 960 столбцы бит. Продолжается первая строка заголовком ОН (Overhead) ёмкостью от 961 до 1280 бит столбцов. Столбцы с 5141 по 5440 для всех строк используются для поля исправления ошибок FEC, составляющего общую ёмкость $(128 \times 5140 - 1280 = 656640)$ бит.

Базовая сигнально-информационная структура групповых интерфейсов FlexO



Структура кадра для передачи информационной нагрузки FlexO



Структура кадра FlexO составлена для структуры кадров Ethernet 100 Гбит/с по стандарту IEEE 802.3-2015, дополнена блоком FEC и имеет периодичность около 6,2 мкс.

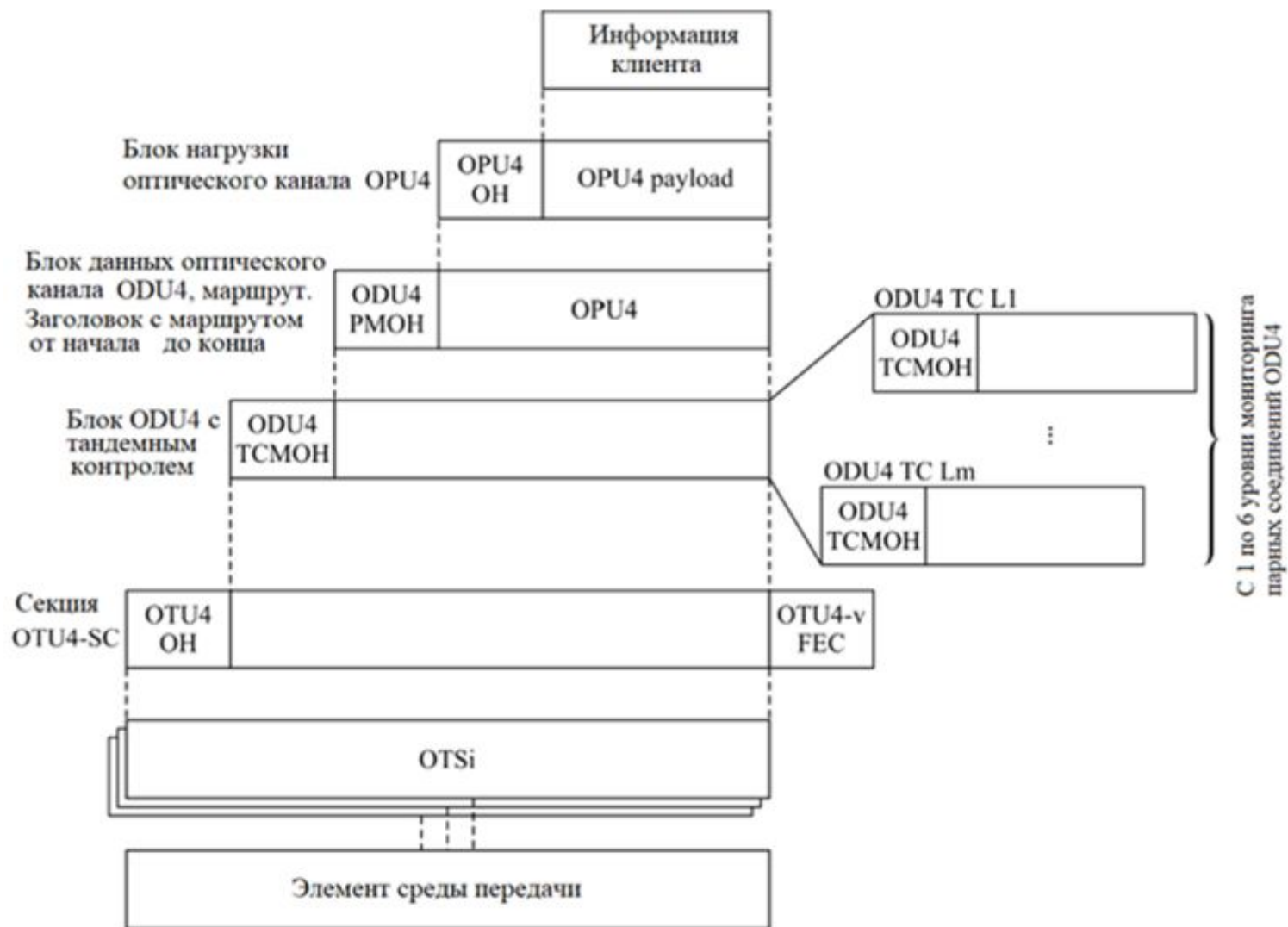
Для расширения возможностей транспортировки различных данных предусматривается объединение 8 кадров FlexO в единую сверхцикловую структуру с дополнением поля заголовка ОН блоками выравнивания сверхцикла, также обозначенного MFAS (Multi-Frame Alignment Signal), и фиксированными вставками FS (Fixed Stufe) в трёх циклах. Сверхцикл содержит семь блоков FlexO с установленным временным положением, что фиксируется в строках 65 и столбцах с 1 по 1280 для семи циклов (кадров) сверхцикла. Последний кадр сверхцикла свободен от этой установки. Не загруженные биты поля заполняются нулями. Поле информационной (полезной) нагрузки состоит из 5244160 бит (655520 байт). Общая ёмкость сверхцикла составляет 5570560 бит (696320 байт). Общая скорость передачи кадров FlexO составит: $256/241 \times \text{OTUC} = 256/241 \times 239/226 \times 99,532,800 \text{ кбит/с} \pm 20 \text{ ppm}$ ($\text{ppm}=10^{-6}$).

Оптические интерфейсы для протяженных линий G.709.2

- В рекомендации G.709.2 (Recommendation ITU-T G.709.2/Y.1331.2 (07/2018) OTU4 long-reach interface) рассматриваются характеристики интерфейсов протяженных линий для скоростных режимов 100 Гбит/с уровня оптического транспортного блока OTU4 с различными функциями исправления ошибок FEC и новыми спецификациями, учитывающими гибкость оптической сети FlexO.
- Интерфейсы этого типа получили обозначение OTU4-SC (staircase forward error correction, ступенчатая упреждающая коррекция ошибок). Также определены групповые интерфейсы OTL4.4-SC протяженных 4 параллельных линий 100 Гбит/с скорости передачи (рис.).
- Базовая информационная структура интерфейса OTU4-SC соответствует стандартам G.709 и G.872. На рис. представлена полная информационная структура этого интерфейса. Структура кадра OTU4-SC аналогична структуре кадра OTU-FEC с кодированием RS(255/239), рассмотренной ранее.



Оптические интерфейсы для протяженных линий G.709.2. Информационная структура оптического интерфейса OTU4-SC



Структура кадра OTU4-SC



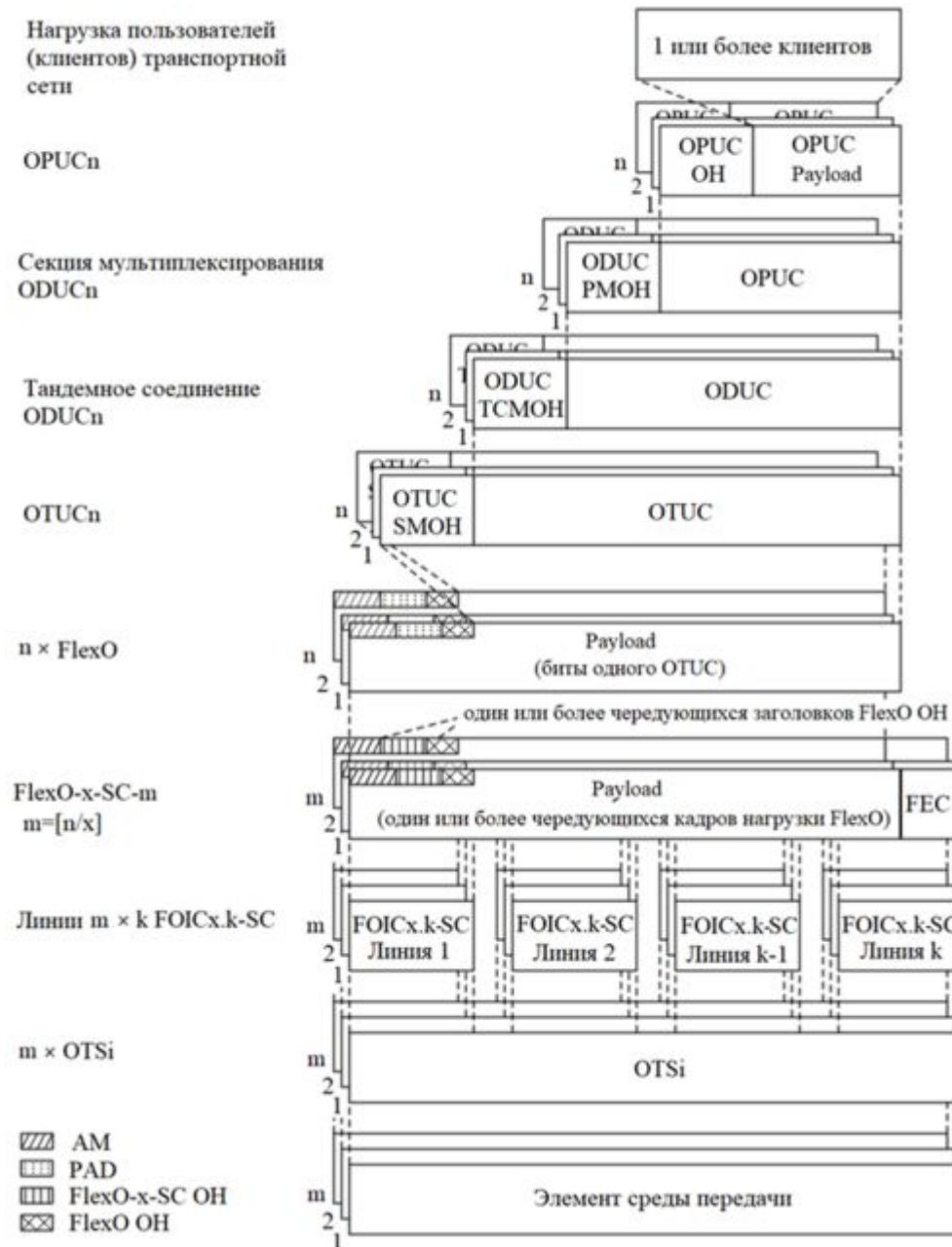
Скорость передачи кадра OTU4-SC равна 111 809 873,568 кбит/с. **Особенностью реализации кадров OTU4-SC является формирование поля исправления ошибок FEC, основанного на блоках (512бит×512бит) с функцией декоррелятора ошибок.** Эта функция позволяет уменьшить количество связанных или коррелированных ошибок при восстановлении кадра на приёмной стороне. Ступенчатое кодирование FEC аналогично по избыточности (6,7%) обычному кодированию FEC G.709. Подробности некоторых вариантов кодирования на передаче и декодирования с исправлением ошибок приведены в приложении рекомендации G.709.2 и представляют собой достаточно объёмное описание, которое не может быть помещено в предлагаемом занятии.

При адаптации данных интерфейса OTU4-SC к 4-линейной физической среде передачи скорость передачи в каждой линии составит 27 952 493,392 кбит/с. Такой режим передачи могут поддерживать модули QSFP28 и CFP-4.

Оптические интерфейсы протяженных гибких сетей G.709.3

- В рекомендации G.709.3 (Recommendation ITU-T G.709.3/Y.1331.3 (06/2018) Flexible OTN long-reach interfaces, FlexO) рассматриваются интерфейсы гибкой оптической сети, поддерживающие передачу блоков OTUCn ($n \geq 1$, $C=100$ Gbit/s) с одним или многими компонентными сигналами (OTSi) на протяженных линиях. Объединение в одном интерфейсе сигналов на скорости 100 Гбит/с позволяет реализовать гибкие соединения в виде суперканальных групповых сборок, например: 400 Гбит/с; 800 Гбит/с; 1,2 Тбит/с; 1,6 Тбит/с и т.д. Информационная структура группового интерфейса FlexO-x-SC-m в наиболее полном варианте представлена на рис.
- Обозначения индексов:
- индекс «k» – используется для указания на поддерживаемую битовую скорость и обозначения блоков OPUk, ODUk, OTUk, например, для $k=1$ будет поддерживаться скорость 2,5 Гбит/с через указанные блоки (OPU1, ODU1, OTU1), для $k=2$ будет поддерживаться скорость 10 Гбит/с, для $k=4$ будет поддерживаться скорость 100 Гбит/с;
- индекс «Cn» используется для обозначения количества объединяемых потоков на скоростях по 100 Гбит/с, т.е. $n \times 100G$;
- индекс «m» указывает на разновидности скоростных режимов k в оптическом интерфейсе объединённых групп (модулей) каналов, например, $m=1$; $m=1,2$; $m=1,2,3$; $m=3,4$ и т.д., т.е. каналы группы оптических волн могут параллельно и независимо друг от друга переносить, как одинаковые по скорости, так и сигналы с различными скоростями;
- индекс «n» используется в обозначениях оптических транспортных модулей OTM, оптических транспортных секций OTS, оптических секций мультиплексирования OMS, оптических физических секций OPS, при группировании оптических каналов OCG, оптических мультиплексированных блоков OMU в качестве указания на число спектральных каналов (волн λ), объединяемых в модуль каналов (например, 4, 8, 16, 32), но при этом $n=0$ обозначает использование только одной длины волны в секции передачи. Обозначение PAD указывает на свободные позиции между синхросигналом и заголовком, которые заполняются при формировании OH FlexO-x-SC-m.

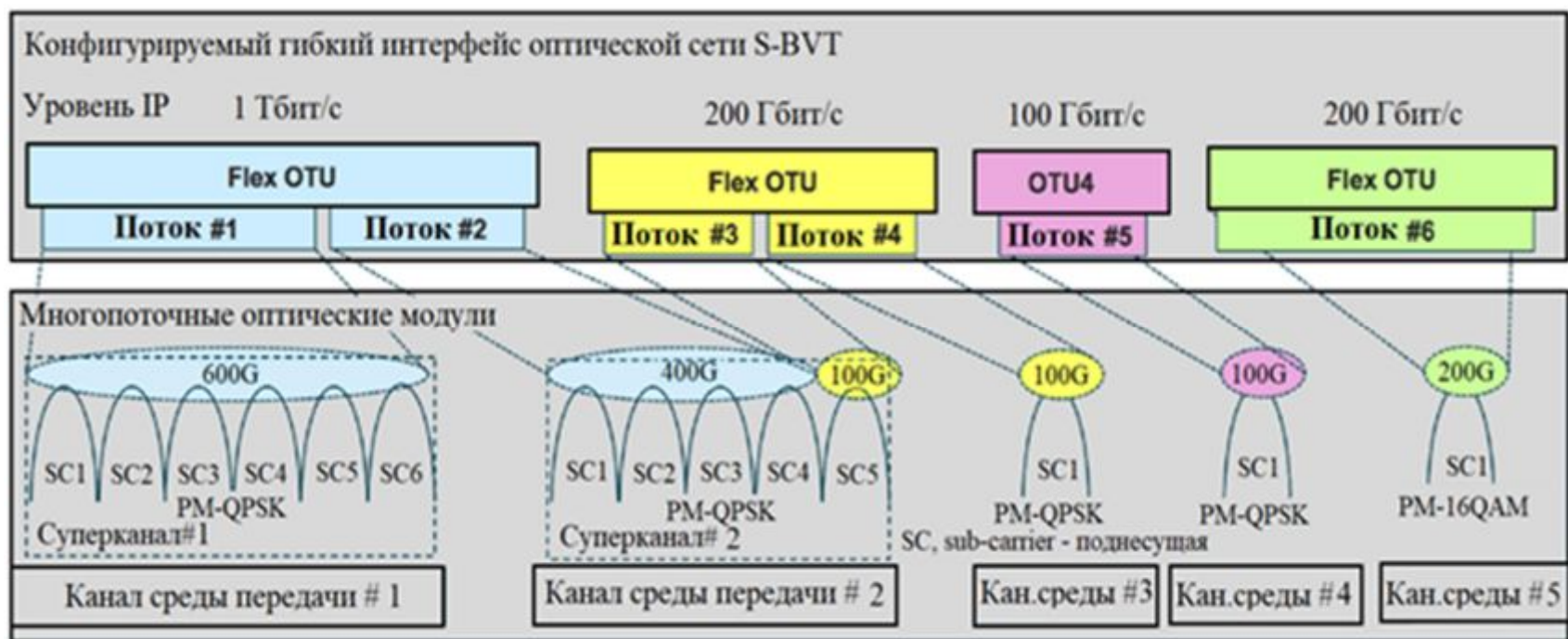
Информационная структура группового интерфейса FlexO-x-SC-m



Информационная структура группового интерфейса FlexO-x-SC-m

- В спецификации интерфейсов FlexO-x-SC-m индексы имеют значения: $x \geq 1$; $m \geq 1$. Буквенное обозначение SC может быть заменено на RS, т.е. применение кодирования Рида-Соломона для исправления ошибок. Процедура формирования линейных сигналов в интерфейсе состоит из ряда этапов, демонстрируемых на рисунке.
- Сигнал от одного или нескольких клиентов (состоящий из n сигналов) размещается в поле нагрузки $n \times \text{FlexO}$ сигналов. Каждый сигнал FlexO упаковывается побитно в сигнал OTUC. Сигналы $n \times \text{FlexO}$ размещаются в m ($m = \lceil n/x \rceil$, $x \geq 1$) сигналы FlexO-x-SC (для FlexO-1-SC скорость передачи составит 112 734 368,996 кбит/с $\pm 20 \times 10^{-6}$). Эти сигналы упаковываются в «х» (кадры длительностью около 6,228 мкс, т.е. мультикадры с чередованием и длительностью около 49,822 мкс) FlexO сигналы с заголовками и полями FEC. Каждый сигнал FlexO-x-SC разделяется на k линейные сигналы FOICx.k-SC (для FOIC1.4-SC скорость 28 183 592,249 кбит/с $\pm 20 \times 10^{-6}$) и после модуляции помещается на одну оптическую несущую частоту в виде компонентного сигнала OTSi, который транслируется через физическую среду (волоконный световод).
- Простым примером для иллюстрации стандарта построения интерфейса FlexO-x-SC-m** может служить уже используемый в оптических транспортных сетях интерфейс 400 Гбит/с (MS-400E), в котором предусмотрено 6 режимов работы с гибким выбором (www.t8.ru). Сигнал от коммутатора Ethernet на стандартной скорости 400 Гбит/с делиться на четыре потока по 100 Гбит/с ($n=4$). Эти параллельные потоки в свою очередь упаковываются в $4 \times \text{FlexO}$ сигналы с побитовым согласованием скоростей с присоединением заголовков и полей FEC, т.е. формируются сигналы FlexO-x-SC-m, где x может иметь значение 1 или 2, что соответствует размещению сигнала на одну или две несущие оптические частоты. На каждой несущей оптической частоте за счёт выбора формата модуляции может быть создано k линий. При этом под линией принято считать амплитудное или фазовое состояние оптической несущей частоты. В формате PM-QPSK предусмотрены две поляризованные составляющие одной оптической несущей и для каждой из них по четыре амплитудно-фазовых состояния. Таким образом, сигнал на скорости 400 Гбит/с можно преобразовать в параллельные сигналы на скорости 50 Гбит/с.

Примеры использования гибких оптических интерфейсов



Контрольные вопросы 1

- 1. Каким требованиям должны отвечать гибкие оптические сети?
- 2. Какие международные стандарты определяют гибкие оптические сети?
- 3. Какие нововведения предусматриваются для оптических сетей с функциями flex в новых стандартах?
- 4. Чем отличаются последовательности размещения цифровых блоков в гибкой оптической сети поколения 5G от предшествующих поколений?
- 5. О чём идёт речь в серии стандартов G.709?
- 6. Что определяет рекомендация G.709?
- 7. Чем отличаются варианты цифровых интерфейсов G.709?
- 8. Чем отличаются варианты оптических интерфейсов G.709?
- 9. Чем отличаются информационные модели интерфейсов G.709?
- 10. Сколько вариантов схем цифрового мультиплексирования предусмотрено рекомендацией G.709? Чем они отличаются?
- 11. В чём особенность формирования цифровых блоков OTL3.4 и OTL4.4 ?
- 12. Чем отличаются цифровые структуры OPUk и OPUCn?
- 13. Чем отличаются цифровые структуры ODUk и ODUCn?
- 14. Чем отличаются цифровые структуры OTUk и OTUCn?
- 15. Что обозначает OPUflex и ODUflex?
- 16. Что представляют собой OTS, OMS, Och, ODU в схеме соединений оптической сети?
- 17. Какие функции выполняют байты FAOH в OTUk?
- 18. Какие функции выполняют байты OTUk OH?
- 19. Для чего нужен байт OSMC в заголовке OTUk?
- 20. Какое назначение имеют байты SM в заголовке OTUk OH?

Контрольные вопросы 2

- 21. Для чего используется канал GCC в заголовке OTUk?
- 22. Чем отличаются заголовки OTUk от заголовков OTUCn?
- 23. Какие функции выполняют байты заголовков OPUk и ODUk?
- 24. Чем отличаются функции заголовков OPUCn, ODUCn от заголовков OPUk, ODUk?
- 25. Для чего нужны цифровые заголовки в канале OSC?
- 26. Для чего может использоваться соединение на основе ODUk/flex в гибкой оптической транспортной сети?
- 27. Какие соединения в транспортной сети поддерживают канал информационно обмена на основе ODUk/flex?
- 28. Что предусматривает рекомендация G.709.1?
- 29. Какие скорости передачи поддерживаются в соединении на основе OTUCn по рек. G.709.1?
- 30. Что обозначает FOIC по рек. G.709.1?
- 31. Что представляет собой структура кадра передачи по рек. G.709.1?
- 32. С каким периодом повторяются кадры G.709.1?
- 33. Что предусмотрено рек. G.709.2?
- 34. Что обозначает OTU4-SC?
- 35. В чём особенность кадра OTU4-SC?
- 36. Что предусмотрено в интерфейсе гибкой оптической сети на основе рек. G.709.3?
- 37. Что обозначает индекс «Cn» в интерфейсе G.709.3?
- 38. Что обозначает FlexO-x-SC-m в интерфейсе G.709.3?
- 39. Что обозначает FOICx.k-SC?
- 40. Какие оптические интерфейсы производства Т8 в комплексе ВОЛГА можно отнести к гибким оптическим интерфейсам?

Задача

- Составить схемы размещения и мультиплексирования клиентских цифровых потоков в структуры OTUk, OTUCn гибкой оптической сети по варианту табл. Использовать условные обозначения слайдов 22-26 и возможности гибких интерфейсов G.709.1, 2, 3 (пример на слайде 50). Нужно выполнить две схемы: вариант мультиплексирования с OTUk и вариант мультиплексирования с OTUCn! Предложить форматы модуляции для минимального числа оптических несущих частот каналов и суперканалов.

	Последняя цифра номера студ. билета или пароля									
Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Клиентский поток в структуру OTUk, OTUCn	200 Гбит/с	300 Гбит/с	400 Гбит/с	500 Гбит/с	600 Гбит/с	700 Гбит/с	800 Гбит/с	900 Гбит/с	1 Тбит/с	1,2 Тбит/с