



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 001

ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ OTN-OTN
БЛОК ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ODUK
OTN-OTN OPTICAL TRANSPORT NETWORK TECHNOLOGY
ODUK OPTICAL CHANNEL DATA BLOCK

Еремеев Евгений Леонидович, преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

Буравцова Дарья Александровна, старший преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

Дмитриев Алексей Максимович, кандидат военных наук, старший преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

Буцев Сергей Федорович, кандидат технических наук, доцент, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

Горай Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

Усацкий Владимир Анатольевич, преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

Yeremeev Evgeny Leonidovich, Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

Buravtsova Daria Alexandrovna, Senior Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

Dmitriev Alexey Maksimovich, Candidate of Military Sciences, Senior Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

Butsaev Sergey Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

Gorai Ivan Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

Usatsky Vladimir Anatolyevich, Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

Аннотация: Уровень сети *OTN* состоит из трёх физически и логически связанных подуровней: среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM); оптических секций ретрансляции *OTS* (*Optical Transmission Section*) и мультиплексирования *OMS* (*Optical Multiplex Section*); оптических каналов *OCh* (*Optical Channel*) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков *OTUk* (*Optical Transport Unit-k*) с включением в них блоков данных оптических каналов *ODUk* (*Optical channel Data Unit-k*), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов *OPUk* (*Optical Channel Payload Unit-k*). Блок *ODUk* - информационная циклическая структура, используемая в оптическом канале для поддержки тракта из конца в конец.

Abstract: The OTN network layer consists of three physically and logically connected sublevels: a wavelength-separated signal transmission medium (WDM); optical sections of *OTS* (*Optical Transmission Section*) and *OMS* multiplexing (*Optical Multiplex Section*); optical channels *OCh* (*Optical Channel*) with a load in the form of optical transport blocks *OTUk* (*Optical Transport Unit-k*) with the inclusion of data blocks of optical

channels ODUk (Optical channel Data Unit-k), which, in turn, include payload blocks of optical channels OPUk (Optical Channel Payload Unit-k). The ODUk block is an information cyclic structure used in an optical channel to support an end-to-end path.

Ключевые слова: сети OTN/OTN, волоконно-оптические системы передачи, оптическое мультиплексирование, технологии волнового разделения каналов, оптические модули.

Keywords: OTN/OTN networks, fiber-optic transmission systems, optical multiplexing, wave channel separation technologies, optical modules.

Информационная циклическая структура ODUk представлена двумя частями: полем нагрузки OPUk и полем заголовка ODUk (рис. 1). Емкости ODUk определены для $k = 1, 2, 3$ (табл. 1). В заголовке ODUk (рис. 1) помещается информация о функциях эксплуатации и управления при поддержке оптического канала OCh.

Байты наблюдения тракта PM (*Path Monitoring*) и тандемного соединения TCM ODUk имеют следующее назначение (рис. 2):

– TTI, *Trail Trace Identifier* - идентификатор маршрута тракта; байт используется в 64 последовательных циклах, организуемых в сверхцикле ODUk из 256 циклов, где размещается четыре группы байтов по 64. В подгруппе идентификатора точки доступа источника SAPI (*Source Access Point Identifier*) может помещаться уникальный глобальный идентификатор соответствующего уровня сети или подгруппа имеет заполнение «0». В подгруппе идентификатора удаленной точки доступа DAPI (*Distantion Access Point Identifier*) также может применяться уникальный глобальный идентификатор или подгруппа имеет заполнение «0».

		Колонки байтов															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		Синхрослово						Синхрослово						Заголовок ODUk			
2		RES		TCM ACT		RES		TCM5		TCM4		FT FL					
3		TCM3		TCM2		TCM1		PM		EXP							
4		GCC1		GCC2		APS/PCC		RES									

Строки

Рисунок 1. Структура заголовка ODUk

Таблица 1

Типы и емкость блоков ODUk

Тип ODUk- Xv	Номинал битовой скорости ODUk, кбит/с	Отклонение скорости
ODU1	239/238 × 2488320	±20*10 ⁻⁶
ODU2	239/237 × 9953280	
ODU3	239/236 × 39813120	

– ВІР-8, *Bit Interleaved Parity-8* - контроль ошибок методом битового паритетного сравнения восьми битов, производимый аналогично в SDH, но с передачей контрольного слова через цикл.

Байт сообщения обратного канала представлен тремя группами функциональных битов:

– ВЕІ/ВІАЕ, *Backward Error Indication/Backward Incoming Alignment Error* - индикация ошибки в обратное направление; используется с системой контроля ВІР-8 для оповещения удаленной стороны об ошибках (табл. 2) / индикация ошибки выравнивания входящего сигнала в обратное направление (используется только в полях ТСМ1–ТСМ6);

- BDI, *Backward Defect Indication* - индикация дефекта (повреждения) в обратное направление. Информация передается одним битом, если число обнаруженных ошибок ВІР-8 превысит 8;
- STAT, *Status* - состояние тракта ODUk представлено таблицей интерпретации (табл. 3).

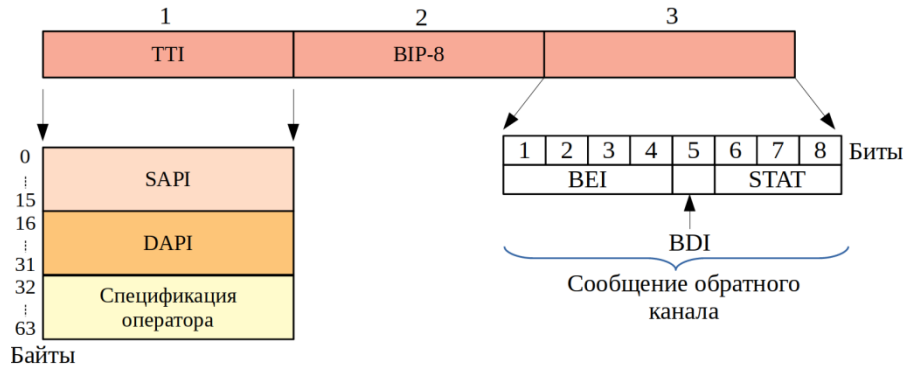


Рисунок 2. Заголовок наблюдения тракта ODUk в поле PM и в поле TCM

Для наблюдения тандемного соединения TCM в сети OTN в заголовке ODUk предусмотрено шесть полей. Через эти поля могут быть соединены пары пользовательских интерфейсов в сети общего пользования. Например, это могут быть соединения пары оптических сетевых интерфейсов между узлами сети.

Таблица 2

Интерпретация бит ВЕІ

Биты ВЕІ с 1 по 4	Число ошибок по ВІР
0 0 0 0 – 1 0 0 0	0...8
1 0 0 1 – 1 1 1 1	0

Интерпретация статуса ODUk

Биты STAT 6 7 8	Статус
0 0 0 – 1 0 0	Резерв для стандартизации
1 0 1	Поддержка сигнала запрета LCK-ODUk
1 1 0	Поддержка сигнала индикации открытого соединения OSI-ODUk
1 1 1	Поддержка сигнала «Авария» AIS-ODUk

Кроме того, TCM позволяют контролировать защитные переключения в подсети OTN для линейных трактов (режимы 1+1, 1:1) и трактов оптических каналов (режим 1:n) по сигналам повреждения и ухудшения качества передачи. На уровне оптического канала возможна поддержка наблюдения за защитным переключением в кольцевой сети. Структура поля TCM_i, где $i = 1, 2, \dots, 6$ аналогична полю PM (рис. 2), но отличается возможностями поля 3-го байта, в котором предусмотрено сообщение BIAE. Сигнал BIAE используется для передачи в обратное направление результатов подсчета блоков с чередованием по битам, в которых была обнаружена ошибка соответствующим приемником контроля участка TCM с использованием ВР-8. Когда имеет место состояние ошибки, код 1011 вводится в поле BEI/BIAE и счет ошибок игнорируется.

Пример наблюдения участков OTN с помощью байтов TCM приведен на рис. 3, где треугольниками обозначены точки начала и конца трактов ODUk (A1–A2 (точки) - с наблюдением в TCM1, B1–B2 и B3–B4 (косые линии) - с наблюдением в TCM2, C1–C2 (горизонтальные линии) - с наблюдением в TCM3).

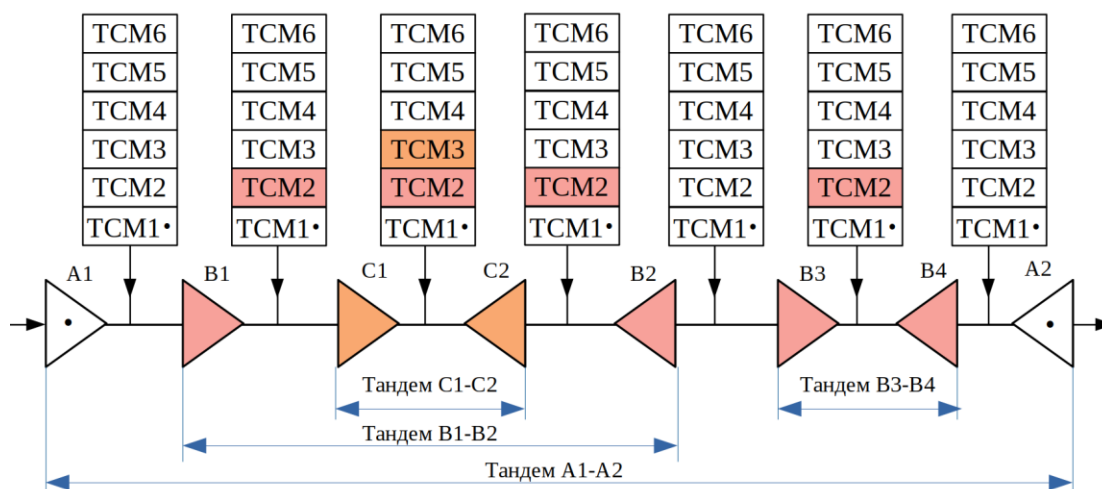


Рисунок 3. Пример участков оптической сети с байтами TCM

Поля двух байтов в заголовке ODUk предназначены для поддержки общих каналов связи GCC (*General Communications Channels*) между двумя элементами сети с доступом к циклу ODUk (т.е. в точках с регенерацией типа 3R). Это пользовательские (операторские) каналы и их формат специфицируется отдельно по соглашению, например, для сети сигнализации при построении автоматически коммутируемой оптической транспортной сети ASON/ASTN.

Четыре байта заголовка ODUk (APS/PCC) (рис. 1 занимают столбцы с 5 по 8 и предназначены для автоматического защитного переключения ODUk, обеспечивая защиту оптического канала (рис. 4). Для информации о защищаемом соединении в тракте ODUk используются старшие биты (6...8) сверхциклового сигнала в заголовке OTUk/ODUk, обозначенного MFAS (*Multiframe Alignment Signal* - сигнал выравнивания свехцикла). Этот байт находится в первой строке колонки 7. Содержание битов MFAS указано в табл. 4 с соответствующей интерпретацией.

1								2								3								4								Байт Бит
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
Запрос / состояние								Тип защиты								Запрашиваемый сигнал								Резерв								
A B D R																																

Рисунок 4. Формат данных канала защиты APS/PCC

Таблица 4

Биты сверхцикла MFAS для управления защитным переключением

Биты MFAS 6 7 8	Уровень наблюдения соединения для защиты	Используемая схема защиты APS/PCC
0 0 0	ODUk - тракт	SNC/N
0 0 1	ODUk TCM1	SNC/S, SNC/N
0 1 0	ODUk TCM2	SNC/S, SNC/N
0 1 1	ODUk TCM3	SNC/S, SNC/N
1 0 0	ODUk TCM4	SNC/S, SNC/N
1 0 1	ODUk TCM5	SNC/S, SNC/N
1 1 0	ODUk TCM6	SNC/S, SNC/N
1 1 1	Секция OTUk	ODU-k SNC/I

В таблице 4 использованы следующие обозначения:

- SNC/N, *Non-intrusively Monitored Subnetwork Connection protection* - защитное переключение подсети без принудительного контроля;
- SNC/S, *Sublayer (tandem connection) monitored Subnetwork Connection protection* - защитное переключение подсети подуровня наблюдения (контроля) тандемного соединения;
- SNC/I, *Inherently monitored Subnetwork Connection protection* - защитное переключение подсети, контролируемое (наблюдаемое) внутри. Форматы данных канала защиты APS/PCC (рис. 4) находятся в стадии разработки. Однако некоторая

информация по защите в линейной схеме уже определена и представлена табл. 5 для первых трёх байтов.

Один байт в заголовке ODUk определен для транспортировки 256 байтов сообщений о типе повреждения и трансляции локального повреждения канала связи. Он обозначается FTFL (Fault Type and Fault Location reporting communication channel). Байт используется в сверхцикле из 256 циклов ODUk, и переносит сообщения в виде двух 128-байтовых полей прямого (а) и обратного (б) действия (рис. 5).

Поле индикации повреждения используется только в трех состояниях: 0000 0000 - нет повреждения; 0000 0001 - сигнал повреждения; 0000 0010 - сигнал ухудшения. Остальные состояния не определены.

Таблица 5

Поля канала защиты APS/PCC

№ байта	Тип поля		Код	Описание функций данных	
1	Запрос/состояние		1111	Нет применения	
			1110	Быстрое переключение	
			1100	Сигнал повреждения (SF)	
			1010	Сигнал деградации (SD)	
			1000	Ручное переключение	
			0110	Ожидание восстановления	
			0100	Ручное управление	
			0010	Возврат по запросу	
			0001	Без возврата	
			0000	Нет запроса	
			Другие	Резерв	
	Тип защиты		A	0	Нет канала APS
				1	Канал APS
			B	0	1+1
				1	1:n
			D	0	Однонаправленное переключение
				1	Двунаправленное переключение
			R	0	Операция без возврата
				1	Операция с возвратом
2	Запрашиваемый сигнал		0	Сигнал «ноль»	
			1...254	Нормальный трафиковый сигнал	
			255	Сверхтрафиковый сигнал	
3	Сигнал сопряжения		0	Сигнал «ноль»	
			1...254	Нормальный трафиковый сигнал	

	255	Сверхтрафиковый сигнал
--	-----	------------------------

Поле идентификации оператора строится в соответствии с международными стандартами ISO 3166 (код страны) и МСЭ-Т М.1400.

Для экспериментального использования в заголовке ODUk предусмотрены два байта (EXP, Experimental). Эти байты не являются предметом стандартизации и могут использоваться операторами сетей OTN по своему усмотрению.

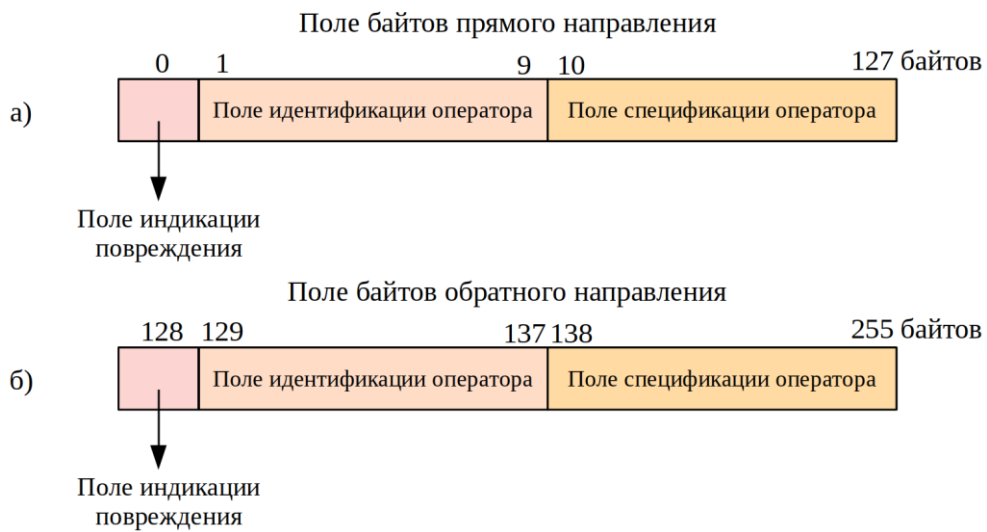


Рисунок 5. Структура сообщения, передаваемого FTFL

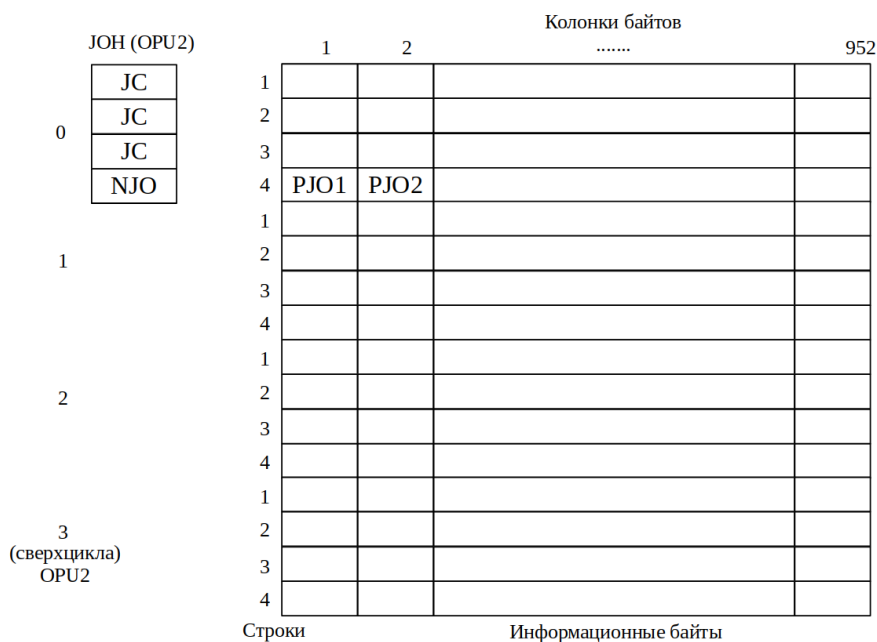


Рисунок 6. Формат блока информационных данных ODTU12

Для увеличения емкости информационных данных, передаваемых через оптические каналы, в схеме мультиплексирования OTN предусмотрено формирование различных объединенных групповых блоков данных, обозначаемых ODTU_{jk} (*Optical channel Data Tributary Unit j into k*) или ODTUG_k (*Optical channel Data Tributary Unit Group*). Значение индексов $j = 1, 2, k = 2, 3$ указывает на физический объем объединенных блоков и их состав.

Таблица 6

Сообщения в байтах JC, NJO, PJO1, PJO2 и их интерпретация

JC 7 8	NJO	PJO1	PJO2	Интерпретация
0 0	Байт согласования	Байт данных	Байт данных	Нет согласования (0)
0 1	Байт данных	Байт данных	Байт данных	Отрицательное согласование (-1)
1 0	Байт согласования	Байт согласования	Байт согласования	Двойное положительное согласование (+ 2)
1 1	Байт согласования	Байт согласования	Байт данных	Положительное согласование (+ 1)

Блок ODTU12 имеет структуру состоящую из 952 колонок и 16 (4 × 4) строк байтов и одной колонки заголовка выравнивания JON (*Justification Overhead*) (рис. 6).

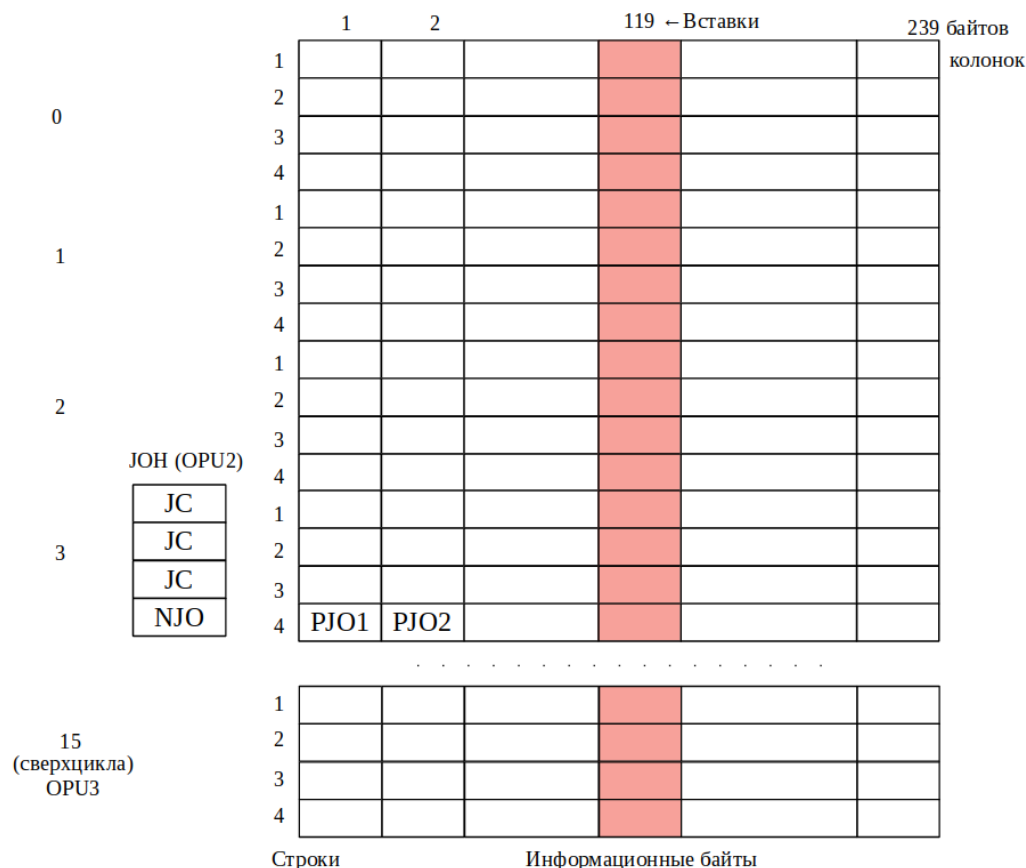


Рисунок 7. Формат блока информационных данных ODTU13

Слева указаны номера блоков ODTU12 в сверхцикле OPU2. В ODTU12 размещаются четыре ODU1. Упаковка сигнала ODU1 в сигнал ODTU12 предусматривает асинхронное размещение (из-за отклонения тактов от номинала в пределах $\pm 20 \cdot 10^{-6}$ битовой скорости). Асинхронное сопряжение связано с операцией положительного и отрицательного согласования (-1/0/+1/+2) (табл. 6). ODTU12 отображен на схеме мультиплексирования OTN блоком ODTUG2. Аналогична и трактовка байтов JC, NJO, PJO1, PJO2 и для ODTU13, ODTU23.

Структура блока ODTU13 включает 238 колонок и 64 (4 × 16) строк байтов, а также еще одну колонку заголовка выравнивания JON (рис. 7). Колонка 119

используется для фиксированной вставки (все нули). В ODTU13 размещаются 16 ODU1.

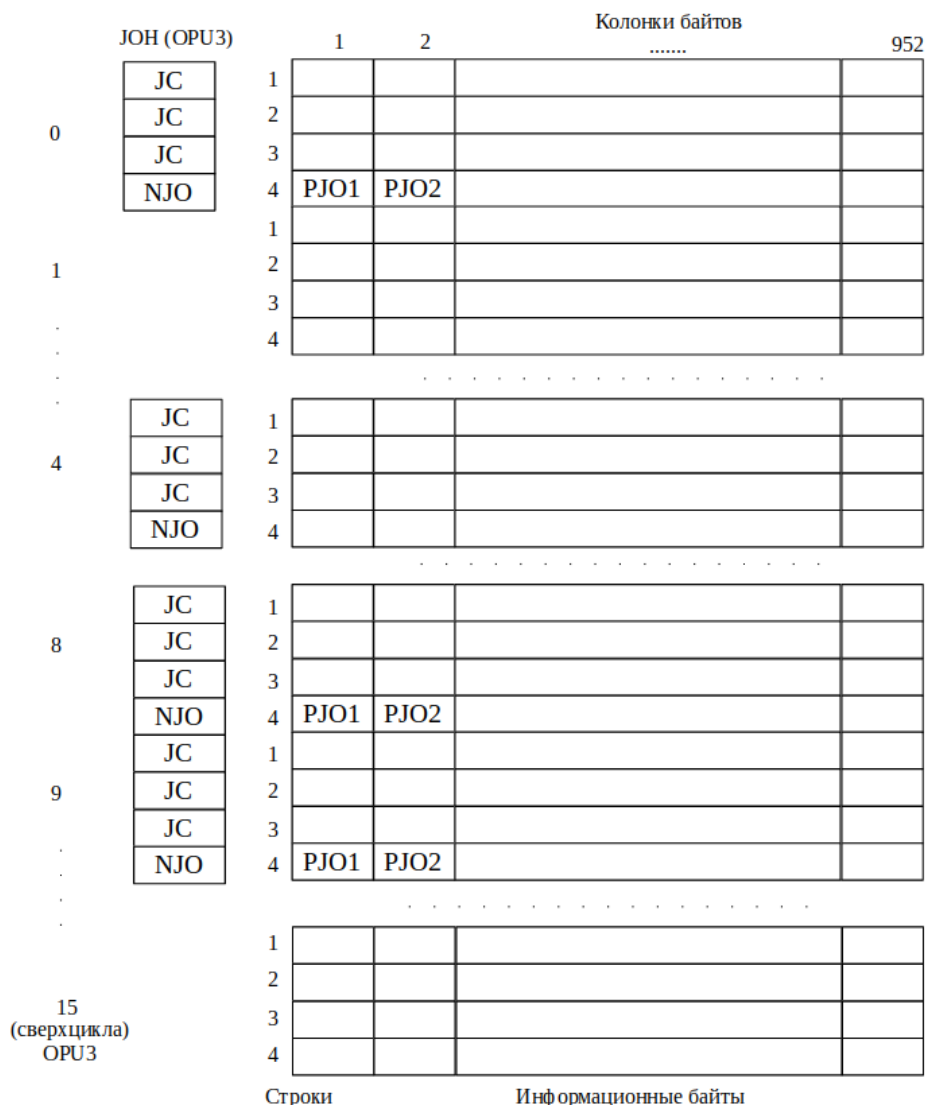


Рисунок 8. Формат блока информационных данных ODTU23

Структура блока ODTU23 включает 952 колонки и 64 (4 × 16) строк байтов, а также 4 колонки заголовка выравнивания JON (рис. 8). В ODTU23 размещаются 4 ODU2.

Литература:

1. В.Г. Фокин. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. - М.: Эко-Трендз, 2008.
2. Зингеренко Ю.А. Оптические цифровые телекоммуникационные системы и сети синхронной цифровой иерархии. - Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013.
3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. — М.: Техносфера, 2003.
4. Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В. Оптические телекоммуникационные системы: Учебное пособие для вузов / Под редакцией В.Н. Гордиенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2019.

References:

1. V.G. Fokino. Optical transmission systems and transport networks. Textbook. - М.: Eco-Trends, 2008.
2. Zingerenko Yu.A. Optical digital telecommunication systems and networks of synchronous digital hierarchy. - Study guide. – St. Petersburg: ITMO Research Institute, 2013.
3. Freeman R. Fiber-optic communication systems. — Moscow: Technosphere, 2003.
4. Gordienko V.N., Krukhmalev V.V. Optical telecommunication systems: A textbook for universities / Edited by V.N. Gordienko. – 2nd ed., reprint. and add. – М.: Hotline – Telecom, 2019.

© Еремеев Е.Л., Буравцова Д.А., Дмитриев А.М., Буцев С.Ф., Горай И.И., Усацкий В.А., Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник», номер 4/2022.

Для цитирования: Еремеев Е.Л., Буравцова Д.А., Дмитриев А.М., Буцев С.Ф., Горай И.И., Усацкий В.А. ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ OTN-OTN БЛОК ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ODUK // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник», номер 4/2022.