

ТЕХНОЛОГИЯ SDN И РЕШЕНИЯ ALU ДЛЯ WDM

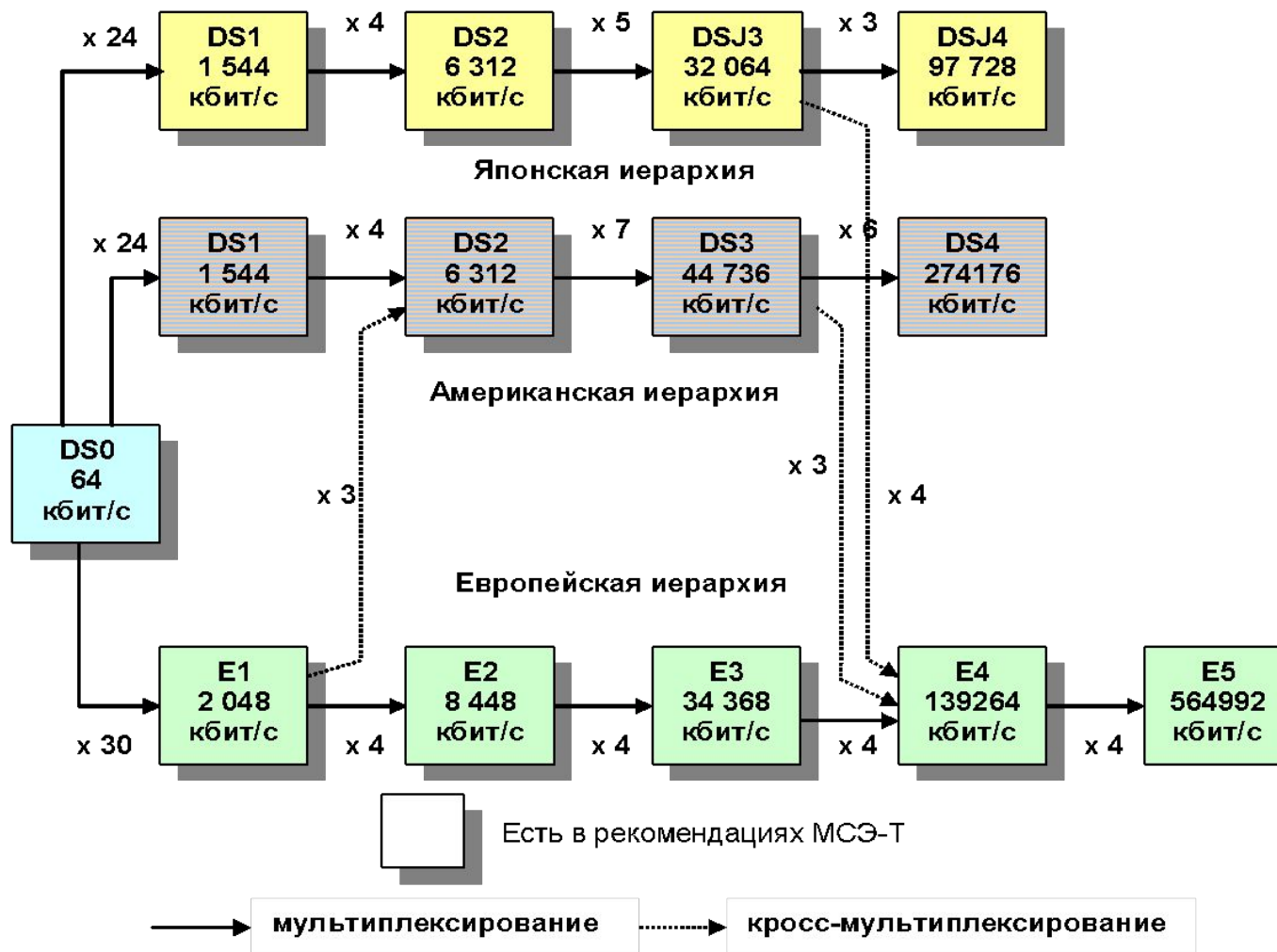
Фатхулин Т.Д., аспирант

СОДЕРЖАНИЕ

- Схема плезиохронных цифровых иерархий (PHD)
- Цели применения и уровни SDH
- STM его структура и элементы
- Схема мультиплексирования
- Сцепки
- New Generation SDH
- Примеры размещения потоков
- Проблемы перехода на большие скорости
- Решения компании Alcatel-Lucent



СХЕМА ПЛЕЗИОХРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ИЕРАРХИЙ



ЦЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ SDN:

- упрощение процедуры доступа к компонентным потокам;
- обеспечение возможности развитой маршрутизации потоков;
- осуществление в пределах иерархии эффективного управления сетями любой сложности;
- систематизация иерархического ряда скоростей передачи и продолжение его за пределы рядов PDH;
- разработка стандартных интерфейсов для облегчения стыковки оборудования.



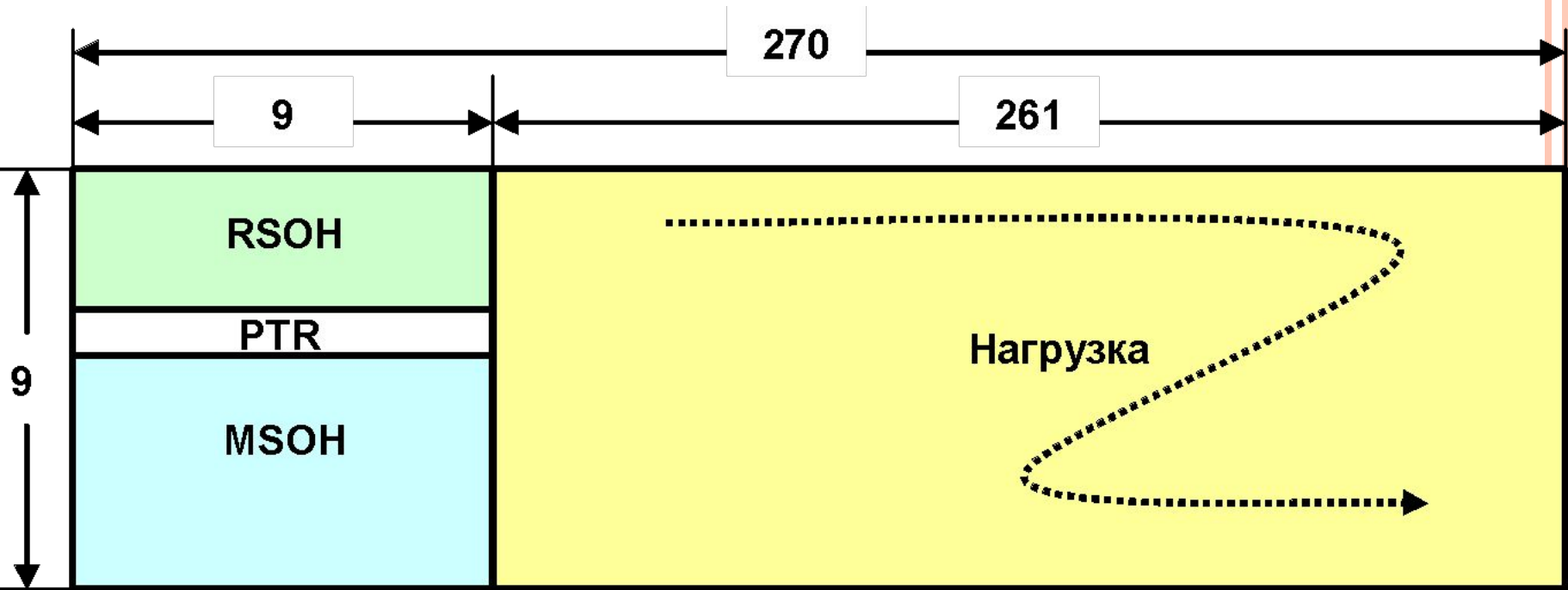
(SDH)

Уровень	STM-N	Скорость, кбит/с	Количество объединяемых потоков		
			E1	E3	E4
1	STM-1	155 520 (155 Мбит/с)	63	3	1
2	STM-4	622 080 (622 Мбит/с)	252	12	4
3	STM-16	2 448 320 (2,5 Гбит/с)	1 008	48	16
4	STM-64	9 953 280 (10 Гбит/с)	4 032	192	64
5	STM-256	39 813 120 (40 Гбит/с)	16 128	768	256

Перспектива перехода на уровень 6 STM-1024 со скоростью передачи 160 Гбит/с



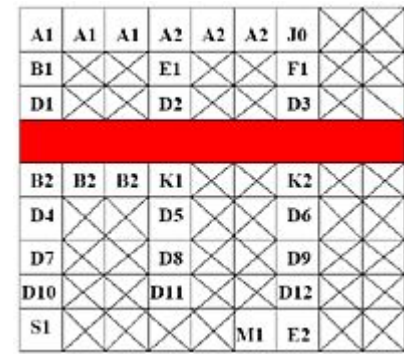
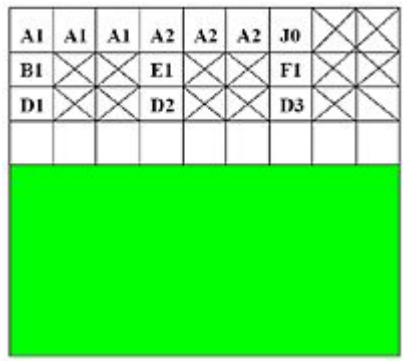
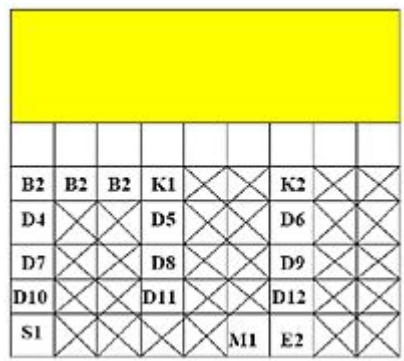
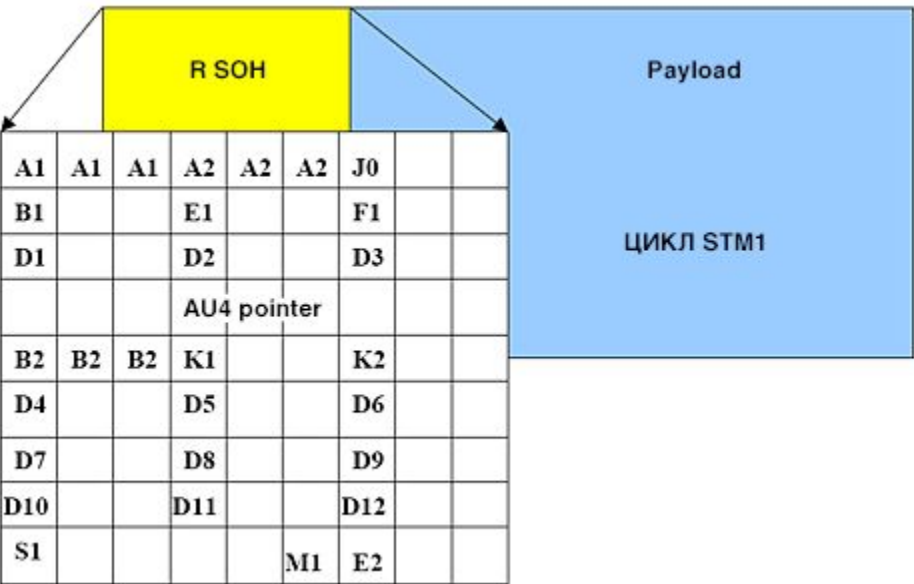
Синхронный модуль STM-1



PTR - указатель административного блока (AU), определяющий положение отдельных уплотненных сигналов (контейнеров VC-4 и VC-3) в цикле STM-1.

RSOH - заголовок регенерационной секции, содержащий сигналы управления, контроля и цикловой синхронизации для обеспечения работоспособности участков регенерации.

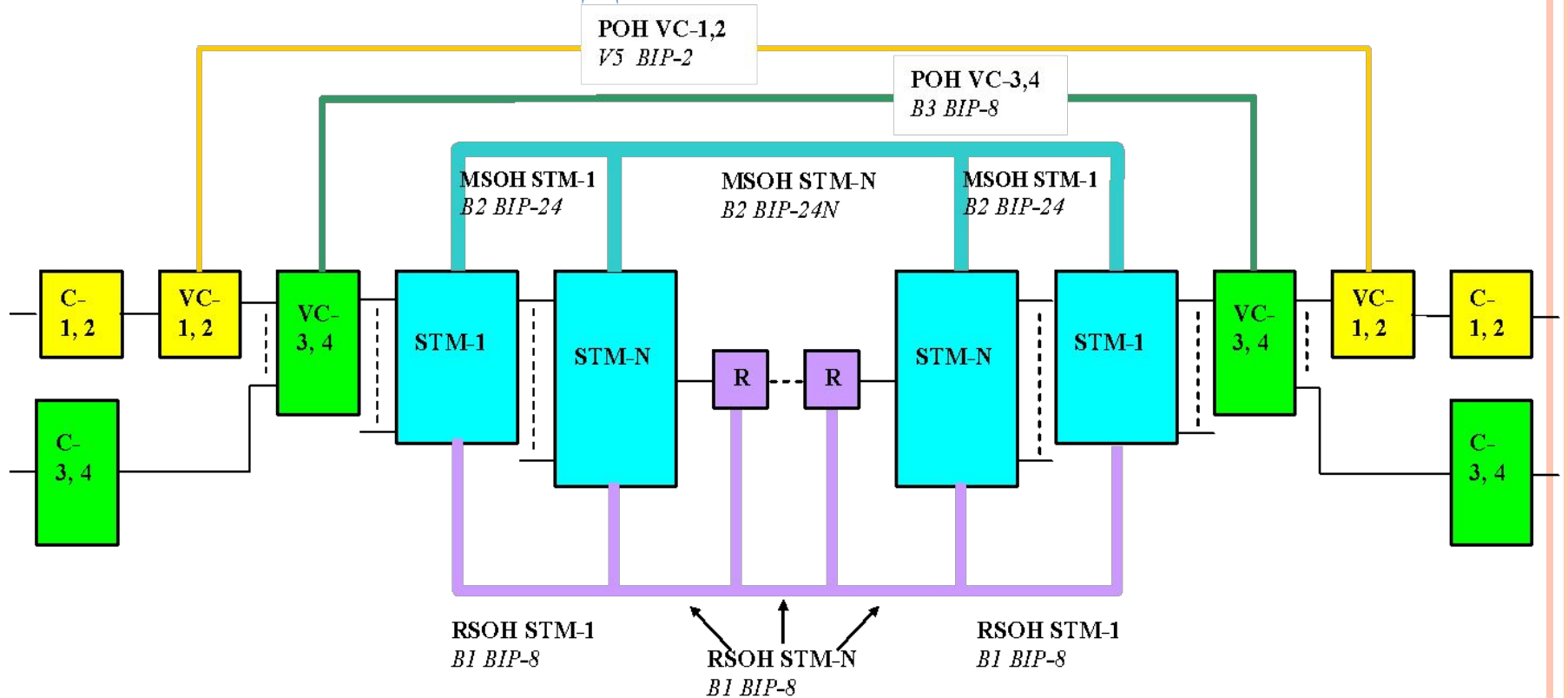
MSOH - заголовок мультиплексорной секции, обеспечивают взаимодействие между мультиплексорами. Через регенераторы проходят без изменений.



A1 и A2: слово цикловой синхронизации
 B1: Контроль ошибок регенераторной секции
 J0: идентификатор STM1 (слово из 16 байтов)
 E1: служебный канал (канал передачи 64 кбит/с)
 F1: канал пользователя. Может использоваться для эксплуатации сети
 D1-D3: канал передачи данных со скоростью 192 кбит/с

B2: Контроль ошибок мультиплексной секции
 K1 и K2: Сигнализация автоматического переключения на резерв
 D4-D12: Канал передачи данных со скоростью 576 кбит/с
 S1: байты состояния синхронизации
 M1: Двоичный код для количества блоков с ошибками

ОБЛАСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАГОЛОВКОВ



PTR - указатель административного блока (AU), определяющий положение отдельных уплотненных сигналов (контейнеров VC-4 и VC-3) в цикле STM-1.

RSOH - заголовок регенерационной секции, содержащий сигналы управления, контроля и цикловой синхронизации для обеспечения работоспособности участков регенерации.

MSOH - заголовок мультиплексорной секции, обеспечивают взаимодействие между мультиплексорами. Через регенераторы проходят без изменений.

ЭЛЕМЕНТЫ СИНХРОННОГО МОДУЛЯ

Контейнер размер, байты скорость, кбит/с	C-11 25 1600	C-12 34 2176	C-2 106 6784	C-3 756 48384	C-4 2340 149760
Виртуальный контейнер размер, байты скорость, кбит/с	VC-11 26 1664	VC-12 35 2240	VC-2 107 6848	VC-3 765 48960	VC-4 2349 150336
Нагрузочный блок размер, байты скорость, кбит/с	TU-11 27 1728	TU-12 36 2304	TU-2 108 6912	TU-3 768 49152	
Группа нагрузочных блоков размер, байты скорость, кбит/с			TUG-2 108 6912	TUG-3 774 49536	
Административный блок размер, байты скорость, кбит/с				AU-3 786 50304	AU-4 2358 150912
Группа административ- ных блоков размер, байты скорость, кбит/с					AUG 2358 150912



Схема мультиплексирования

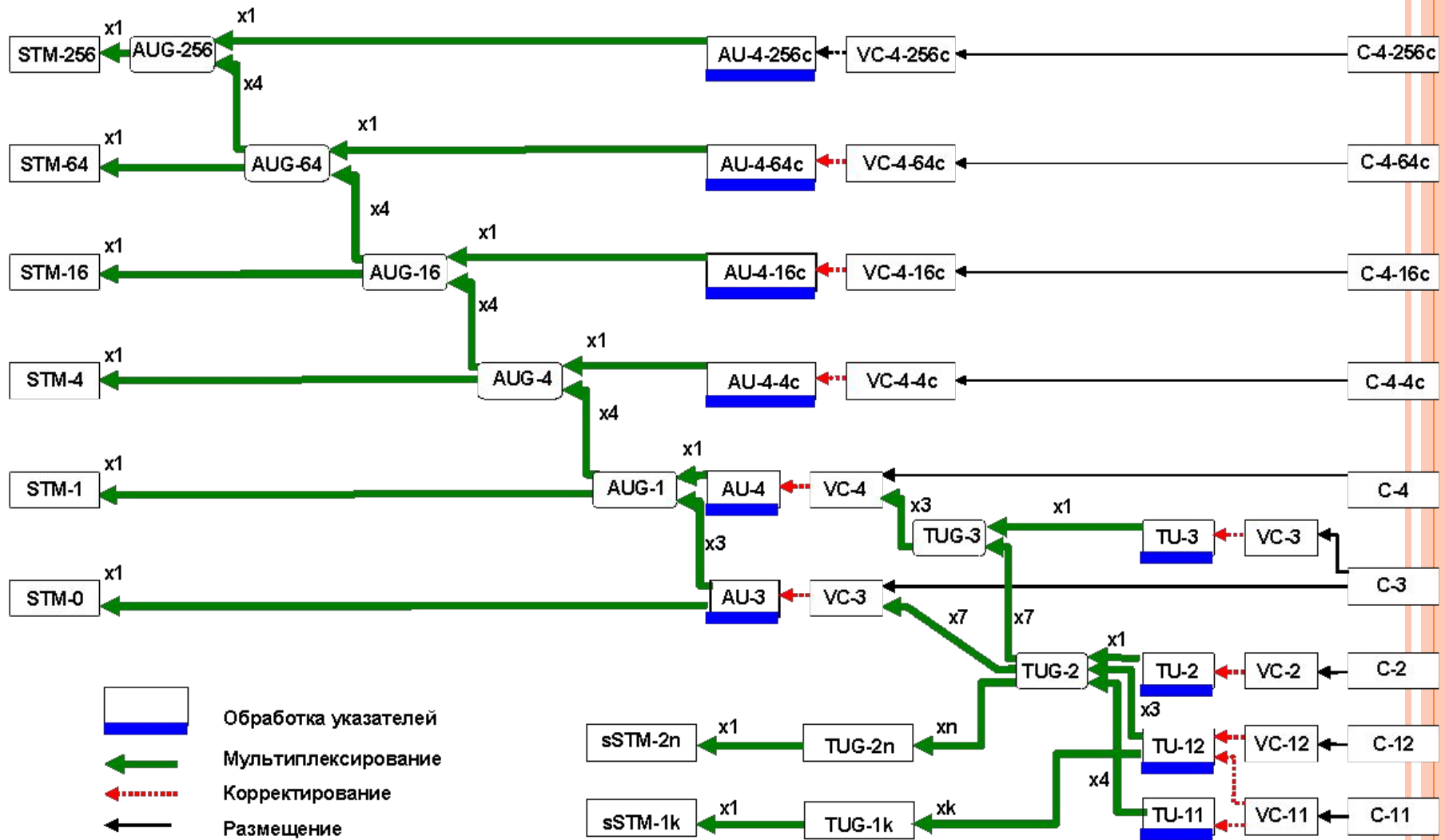
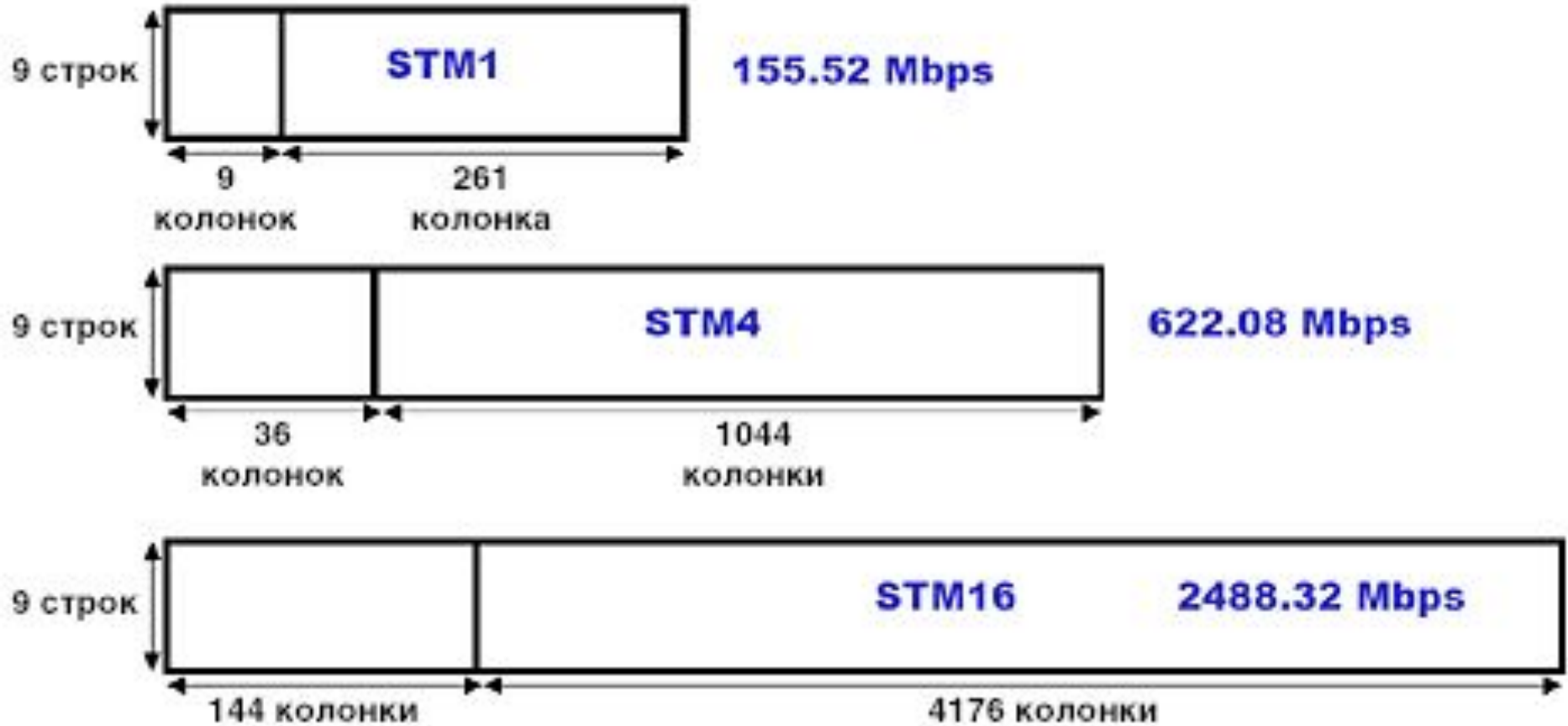


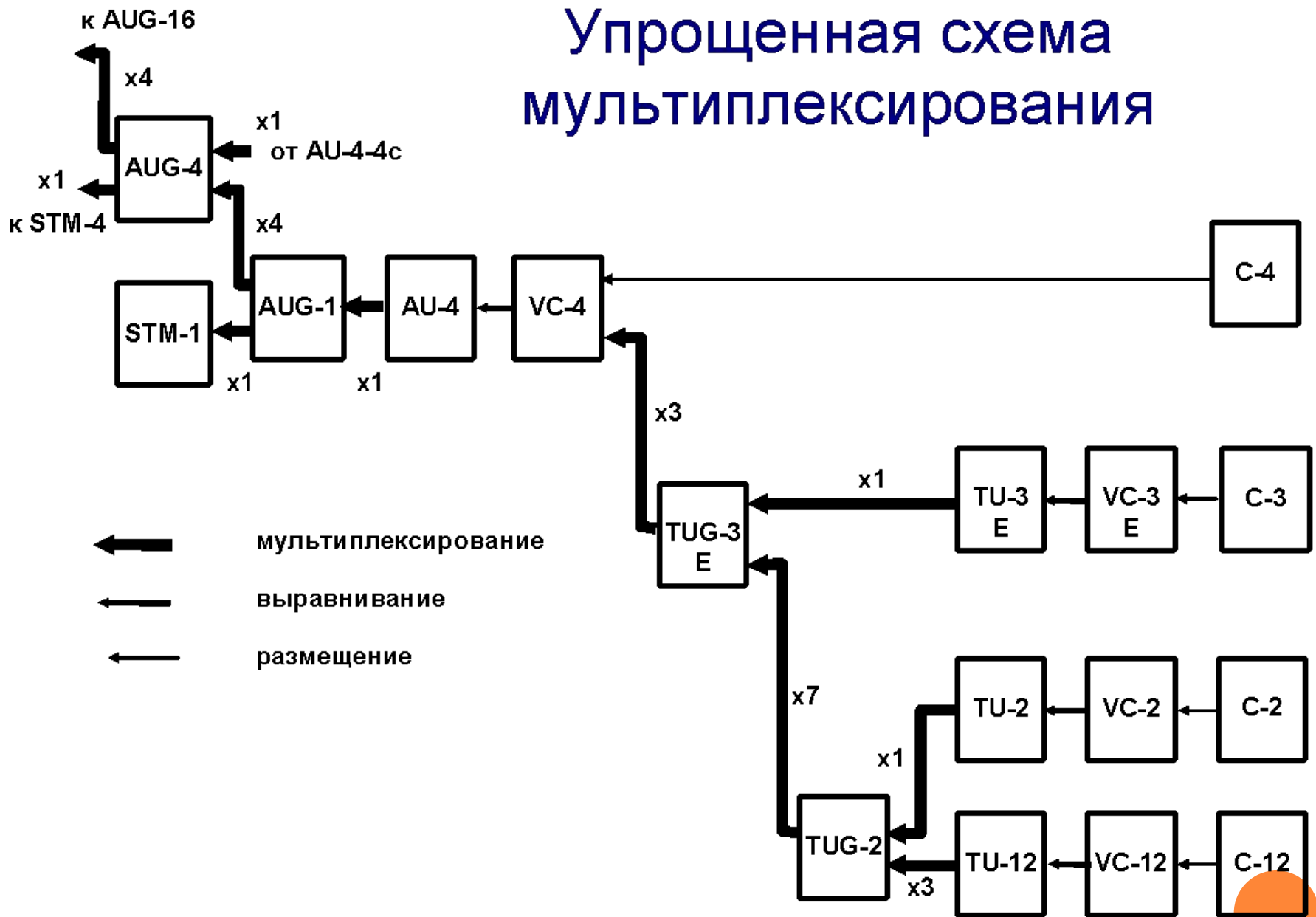
Схема преобразований СЦИ



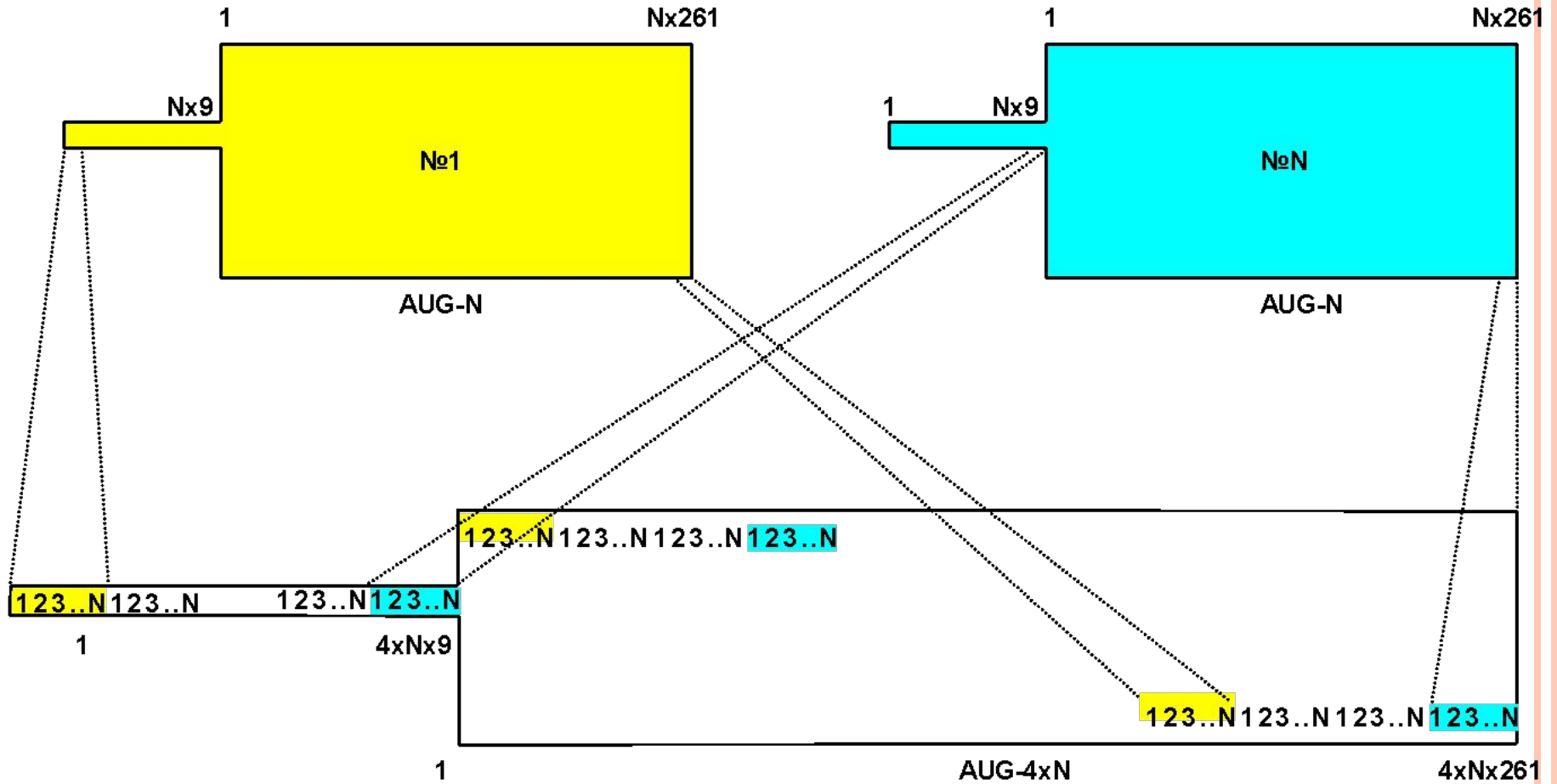
СТРУКТУРА ЦИКЛА SDH



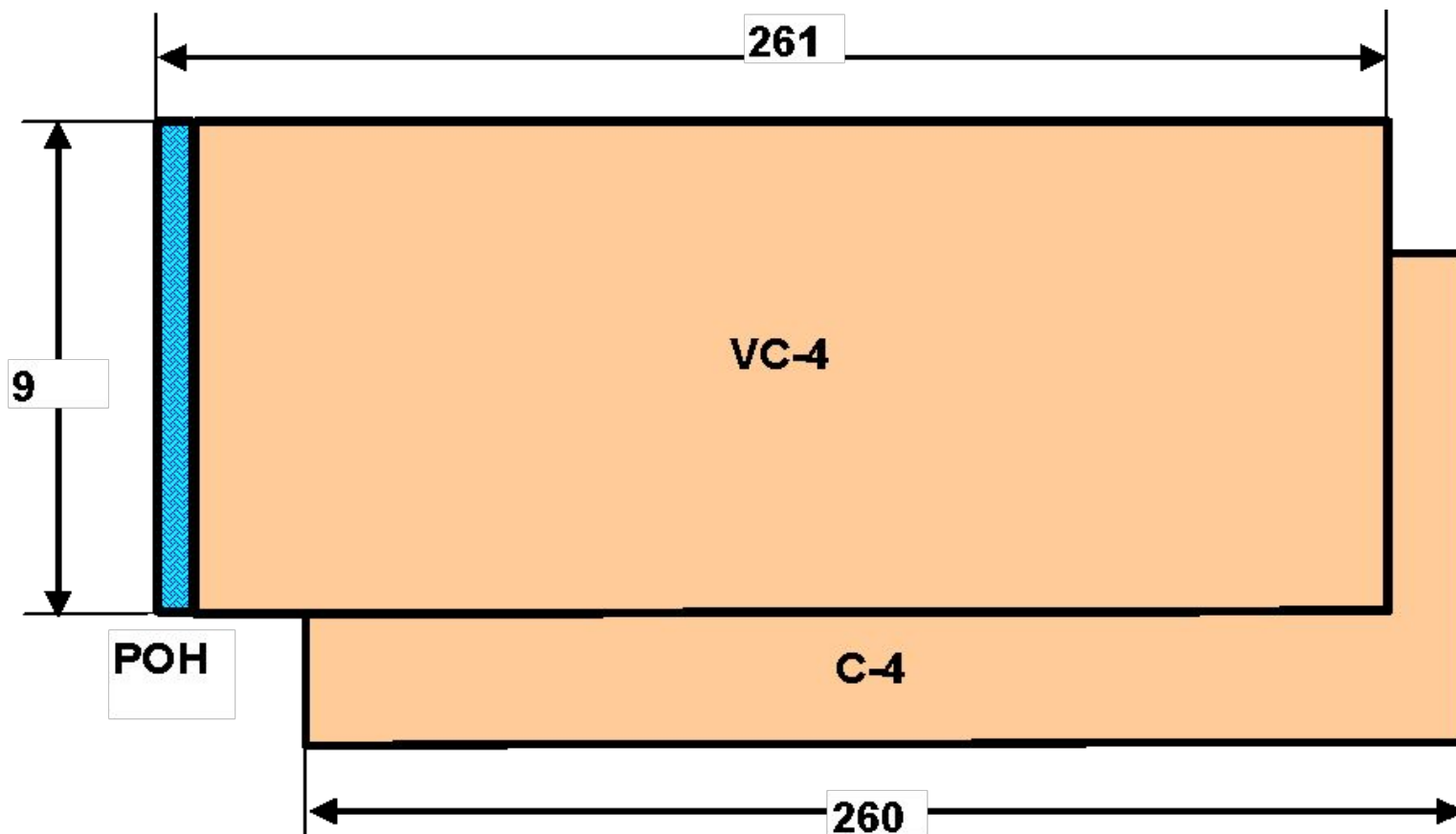
Упрощенная схема мультиплексирования



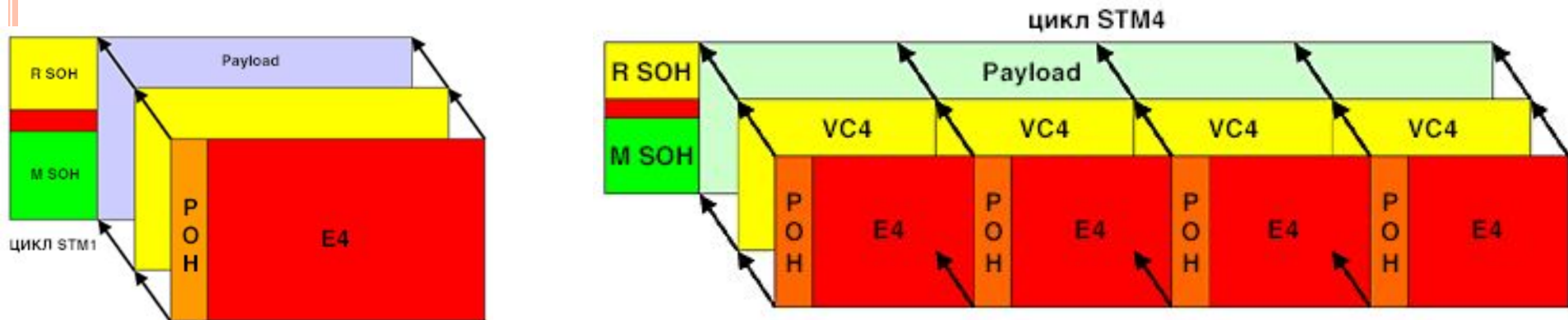
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ AUG



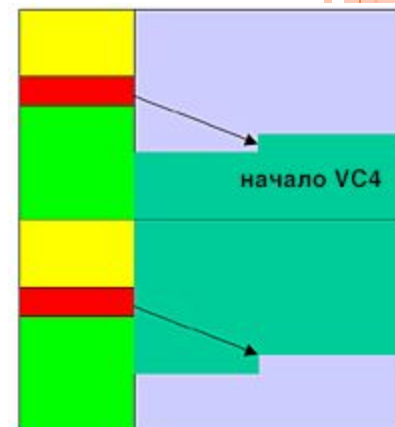
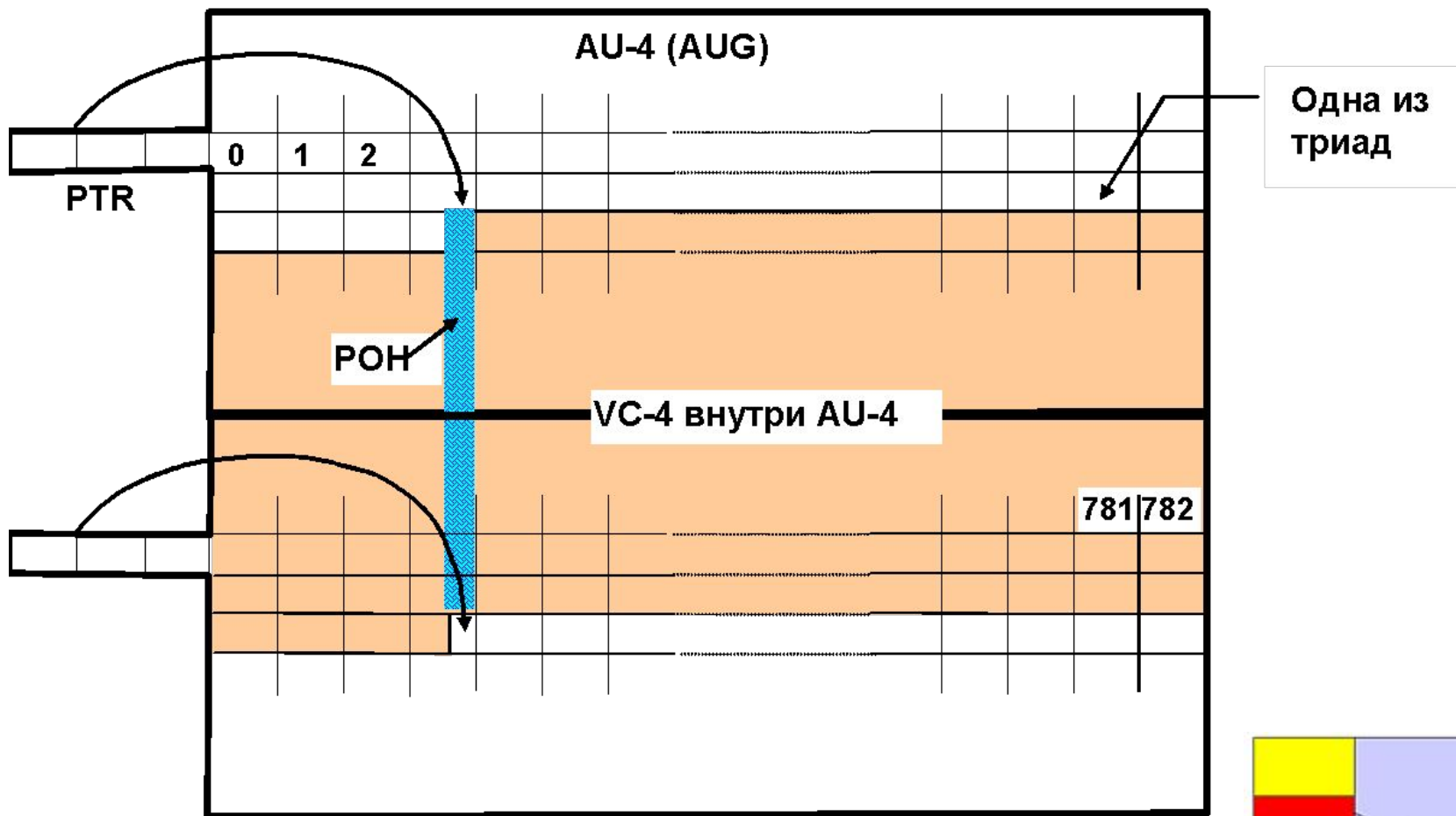
КОНТЕЙНЕР С-4 И ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНТЕЙНЕР VC-4



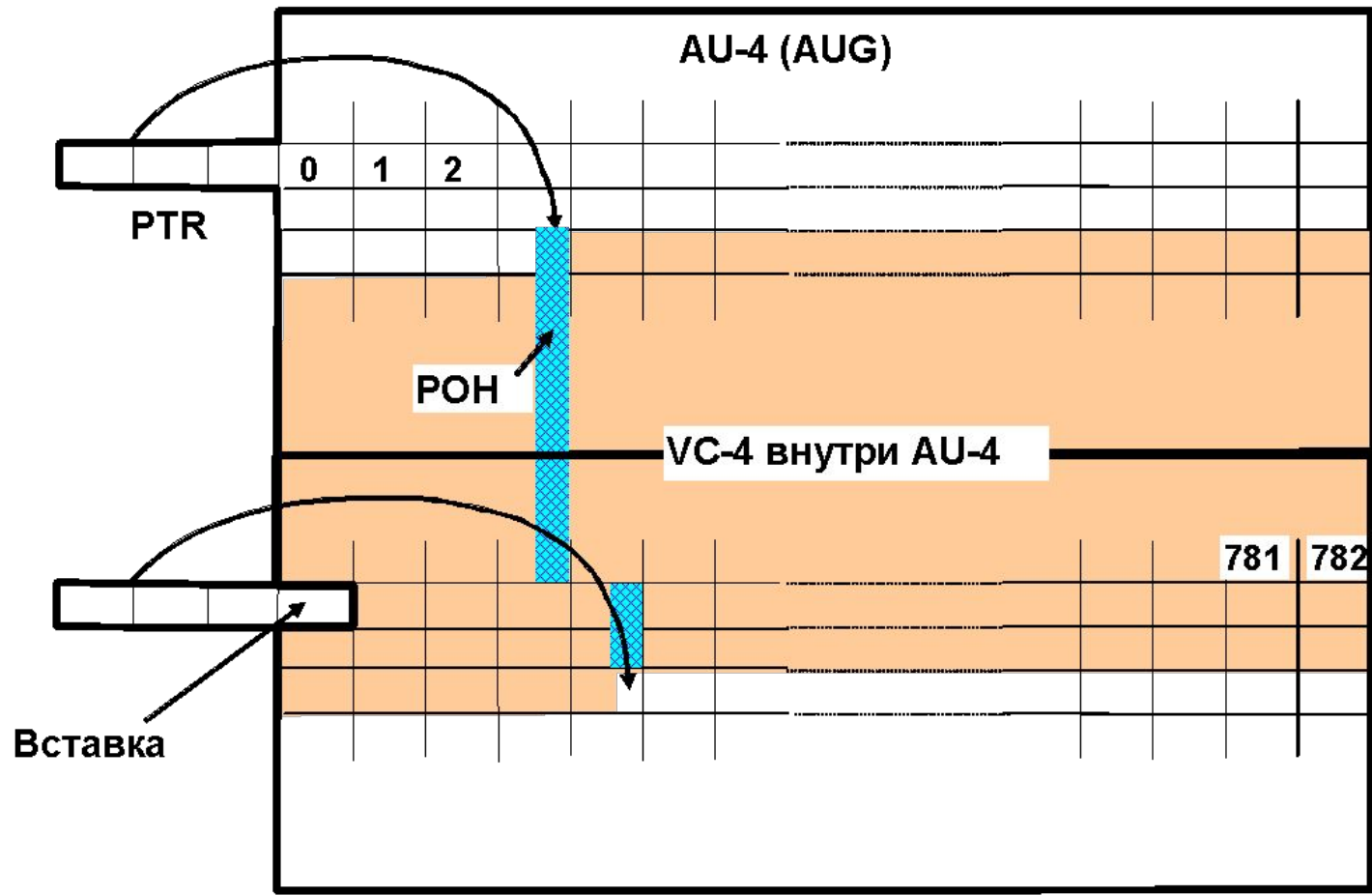
POH-трактовый заголовок, служит для надежной транспортировки информации



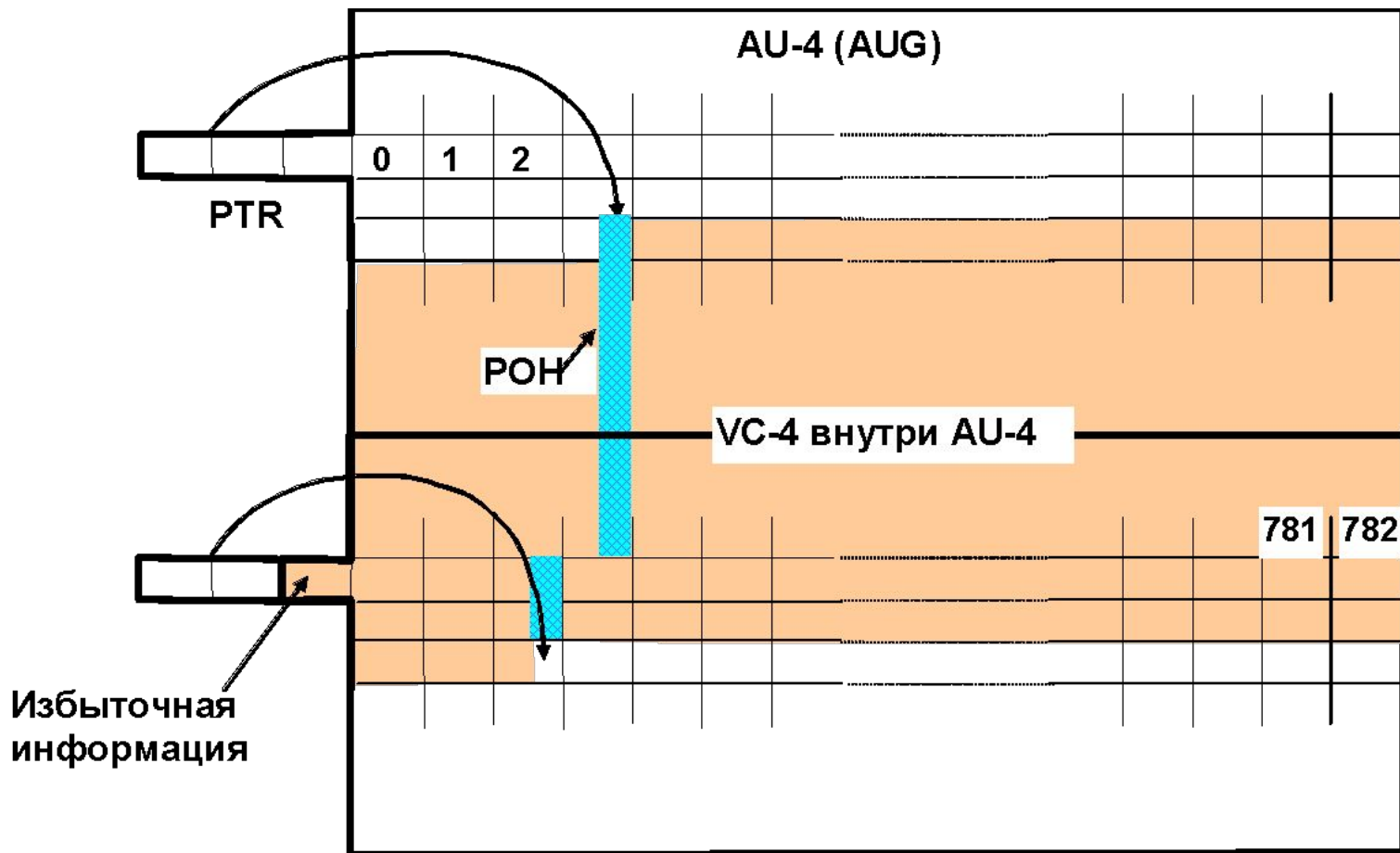
РАСПОЛОЖЕНИЕ VC-4 ВНУТРИ AU-4



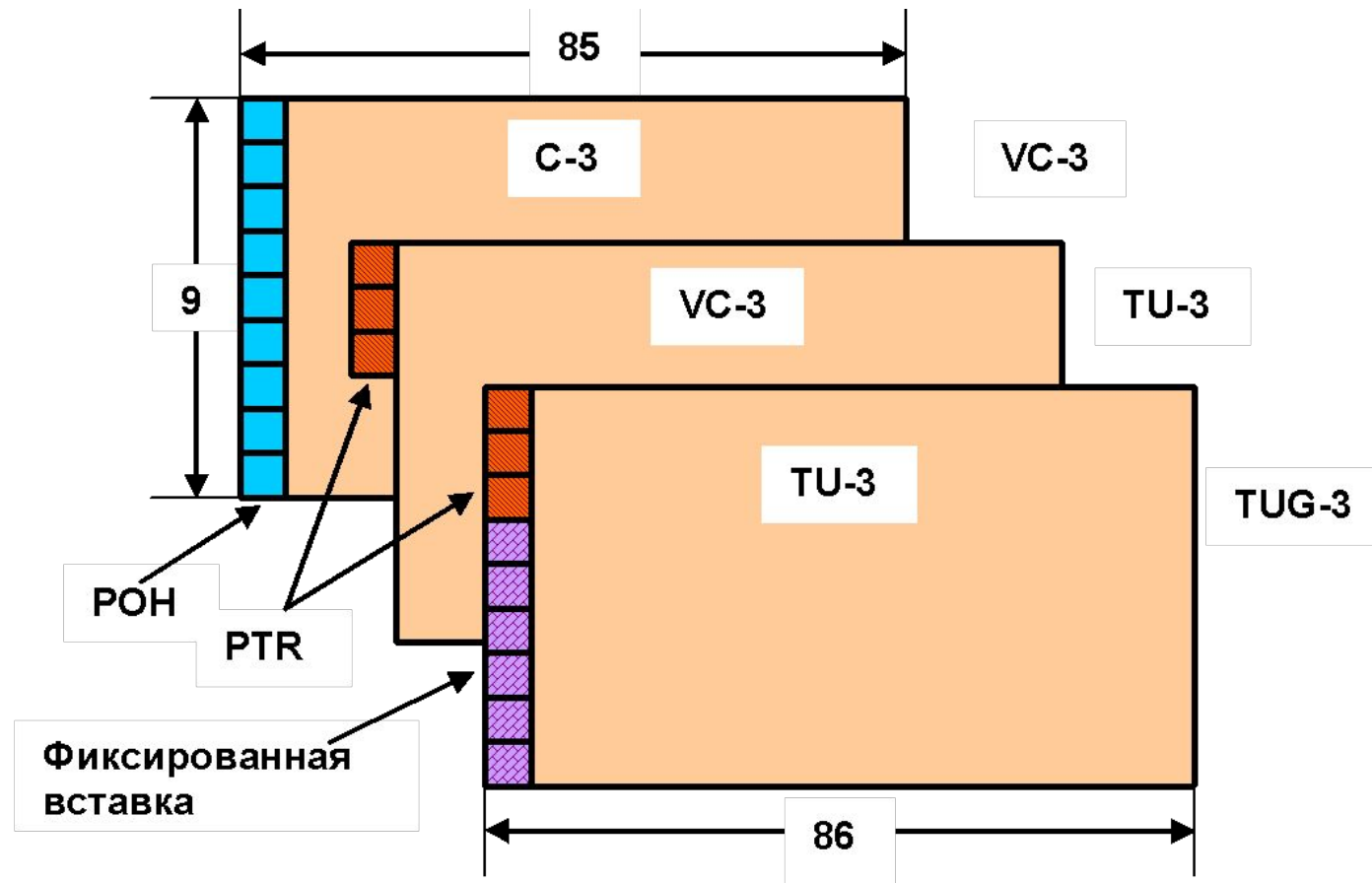
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЫРАВНИВАНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ВИРТУАЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ VC-4



ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВЫРАВНИВАНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ВИРТУАЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ VC-4



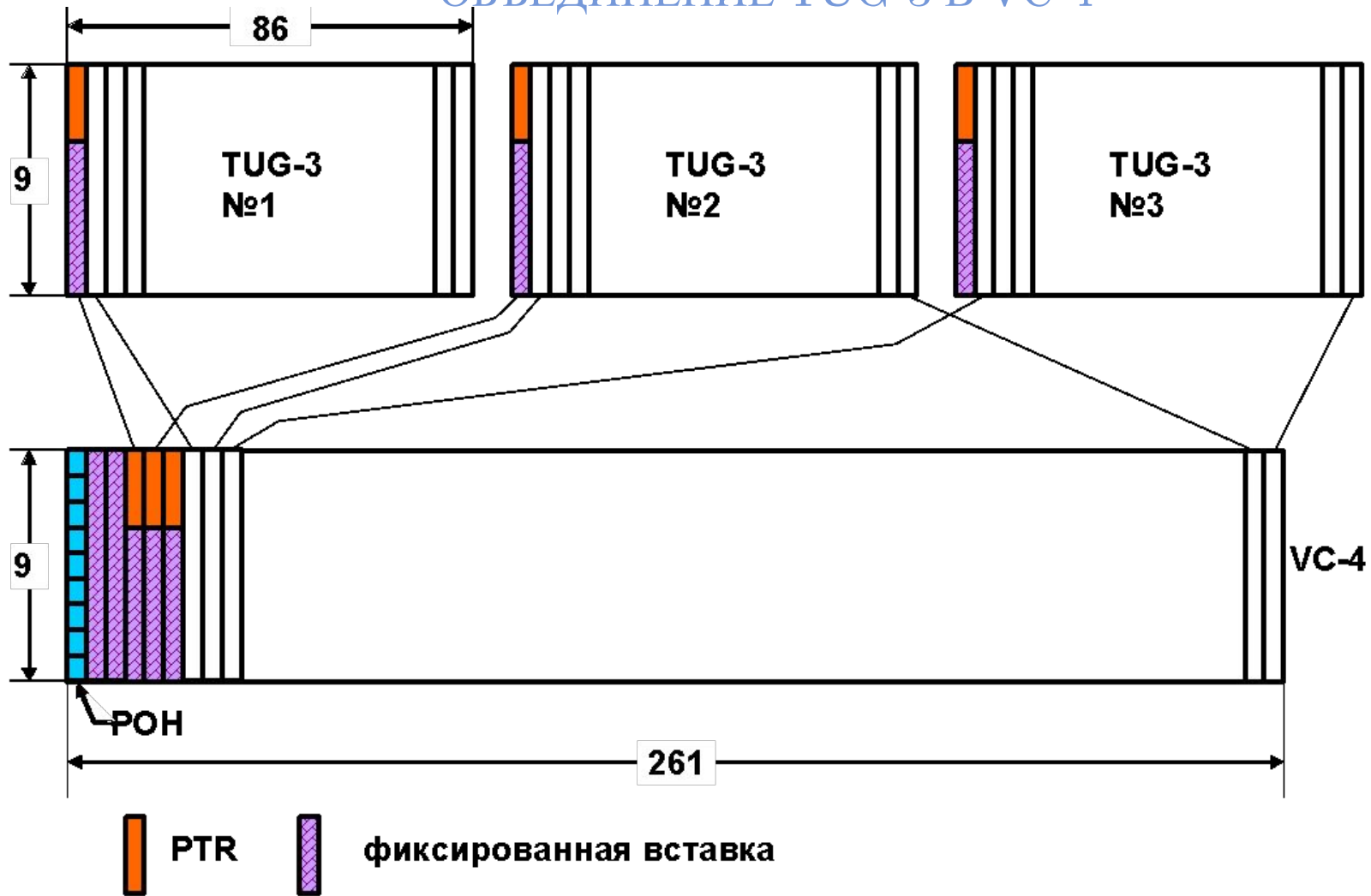
ФОРМИРОВАНИЕ TUG-3 ИЗ С-3



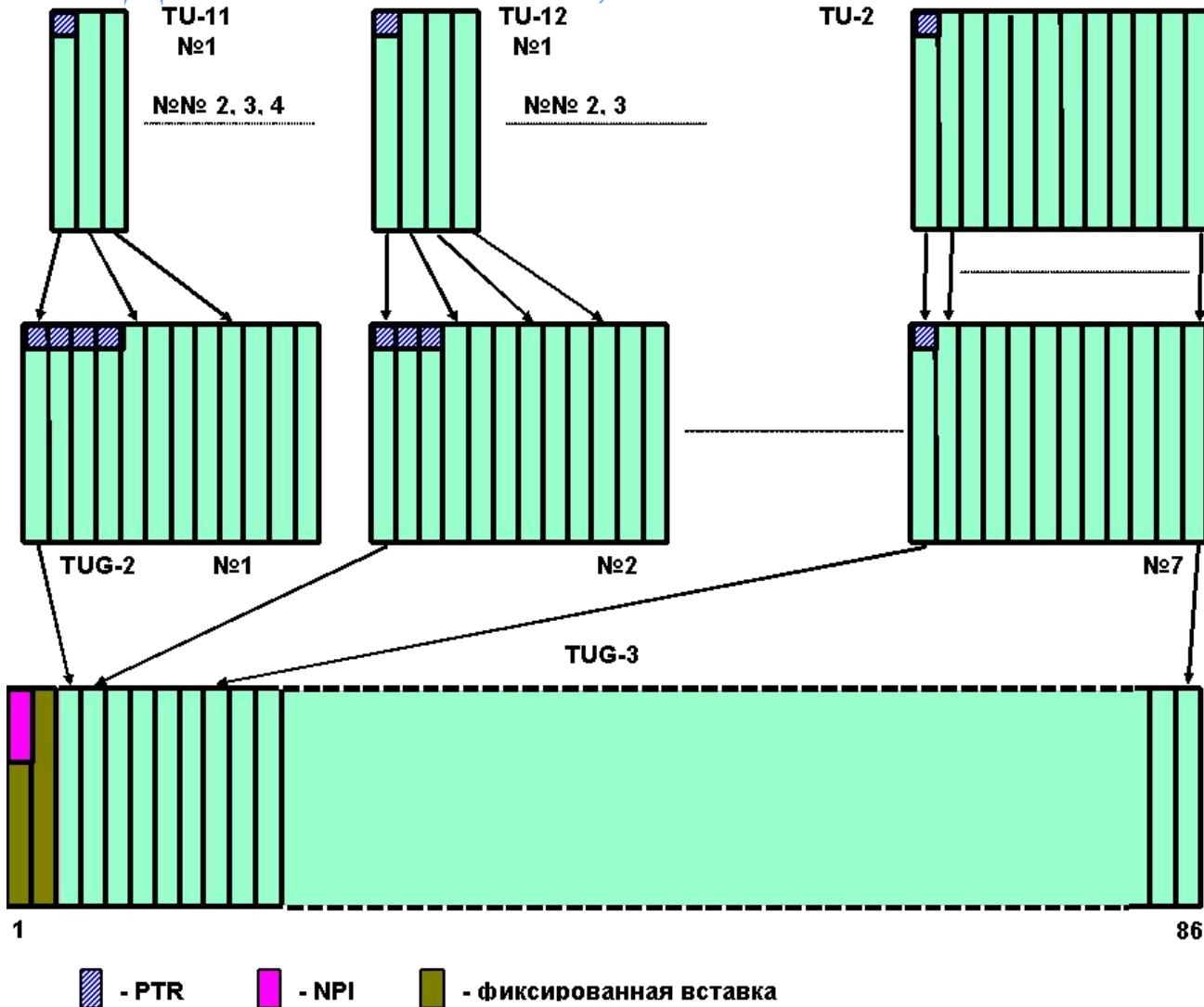
К виртуальному контейнеру VC-3 добавляется 3-х байтный указатель PTR, получается трибутарный блок TU-3. При добавлении к нему 6 байт фиксированной вставки получается группа трибутарного блока TUG-3.



ОБЪЕДИНЕНИЕ TUG-3 В VC-4



ОБЪЕДИНЕНИЕ TU-11, TU-12 И TU-2 В TUG-3

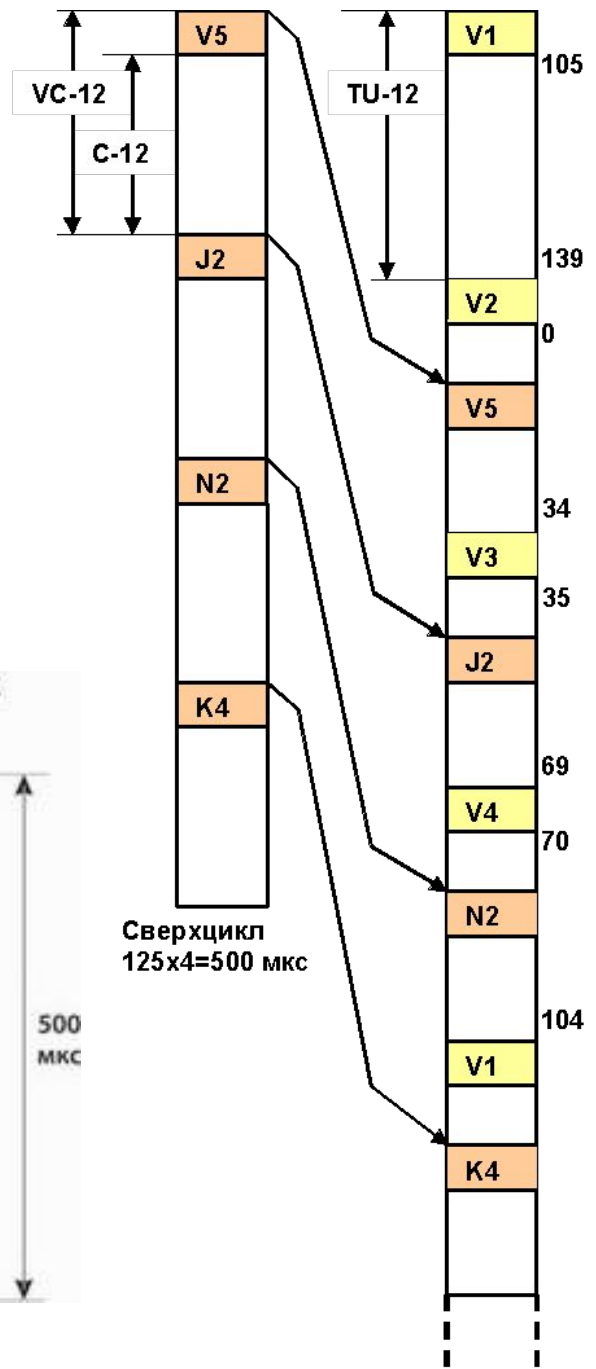


В полученной группе TUG-3 три байта, соответствующие указателю TU-3 PTR, называются NPI (Null Pointer Indicator) - индикатор “пустого” (не имеющего значения) указателя. NPI указатель, появляется на месте указателя TU-3 PTR при объединении контейнеров VC-12 в группу TUG-3

ОБЪЕДИНЕНИЕ C-12 В TU-12

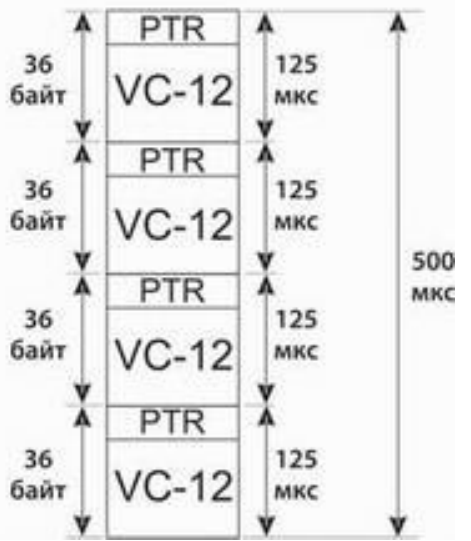
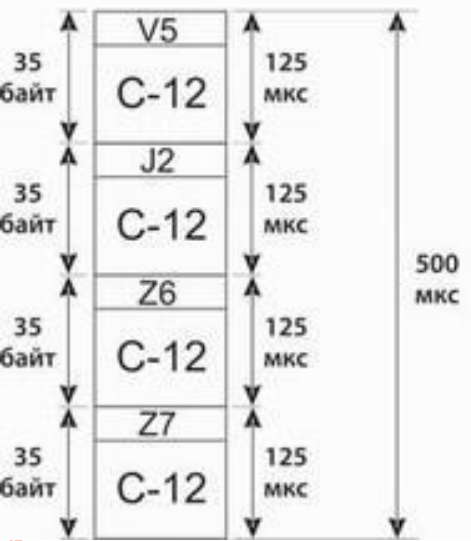
V5 - данный байт заголовка служит для обнаружения ошибок, передает сигнальную метку и показывает состояние тракта, J2— обеспечивает трассировку тракта, N2-контроль транзитного соединения, K4-байт автоматического переключения на резерв.

Номер байта, с которого начинается загрузка байта V5 записан в V1 и V2 ,V3- для выравнивания скоростей,V4-зарезервирован.

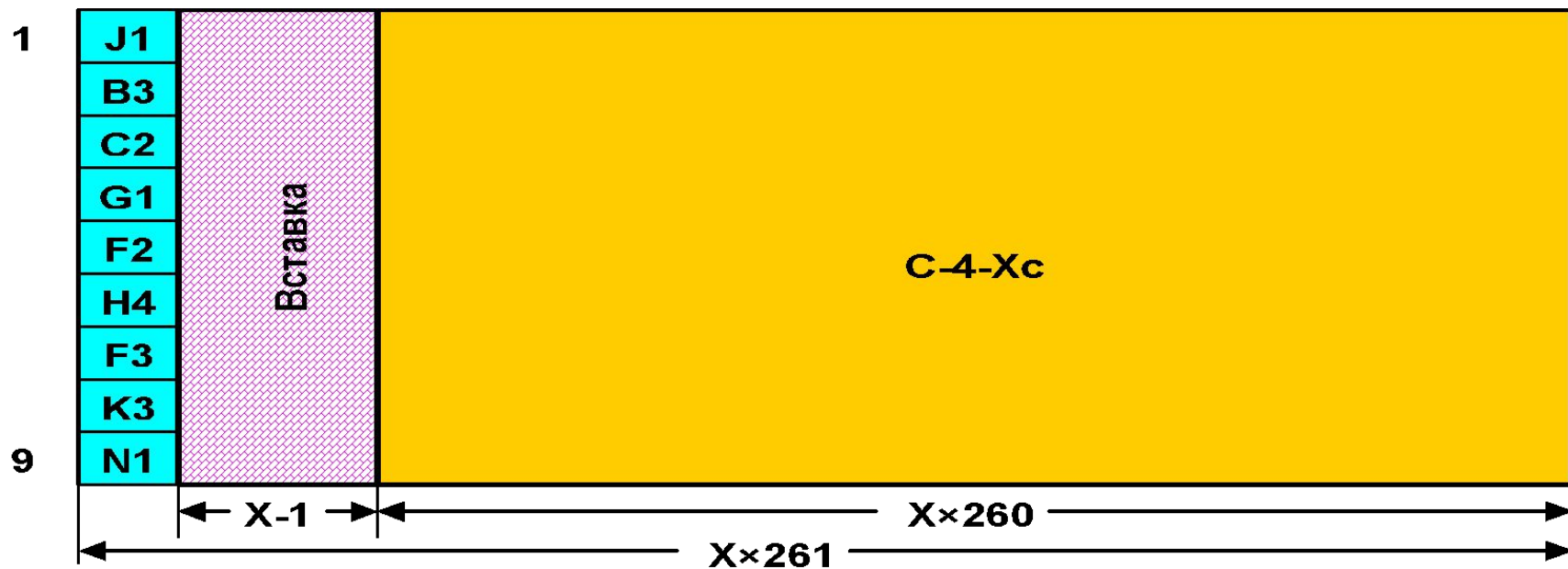


Сверхцикл VC-12

Сверхцикл TU-12



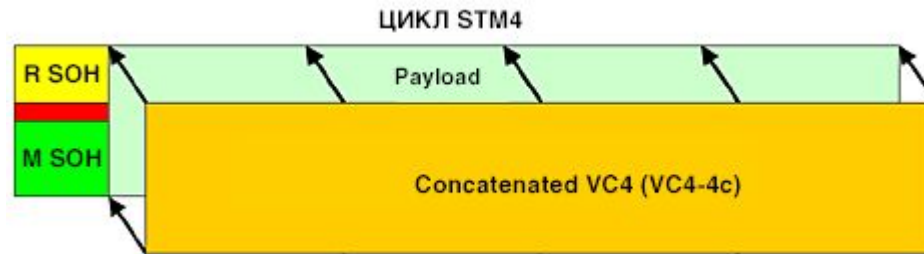
ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНТЕЙНЕР VC-4-XC



ТРАКТОВЫЙ ЗАГОЛОВОК РОН

J1	Трассировка тракта	Байты для сквозной связи, их функции не зависят от нагрузки.
B3	ВР-8	
C2	Сигнальная метка	
G1	Состояние тракта	Байты, специфичные для типов нагрузки
F2	Канал пользователя тракта	
H4	Индикатор сверхцикла и управление сцепками	
F3	Канал пользователя тракта	
K3	Переключение на резерв	
N1	Контроль транзитного соединения	

ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНТЕЙНЕР VC-4-ХС



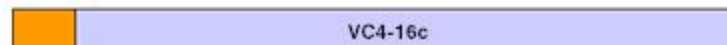
STM1 → 1 standard VC4.
No concatenation!



STM4 → 4 standard VC4
1 concatenated VC4-4c



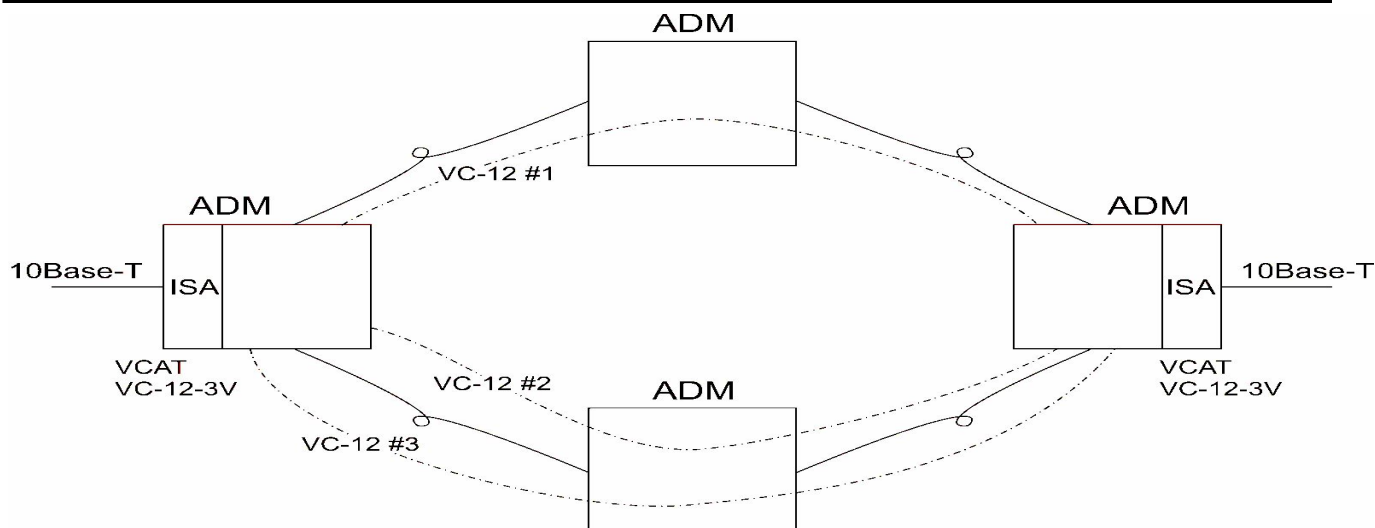
STM16 → 16 standard VC4
4 concatenated VC4-4c
1 concatenated VC4-16c



NEW GENERATION SDH (1)

Эффективность использования пропускной способности SDH при применении последовательной и виртуальной конкатенации

Тип входного потока	Последовательная конкатенация	Виртуальная конкатенация
Ethernet (10 Мбит/с)	VC-3 □ 20%	VC-12-5v □ 92%
Fast Ethernet (100 Мбит/с)	VC-4 □ 67%	VC-12-47v □ 100%
Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с)	VC-4-16c □ 42%	VC-4-7v □ 85%

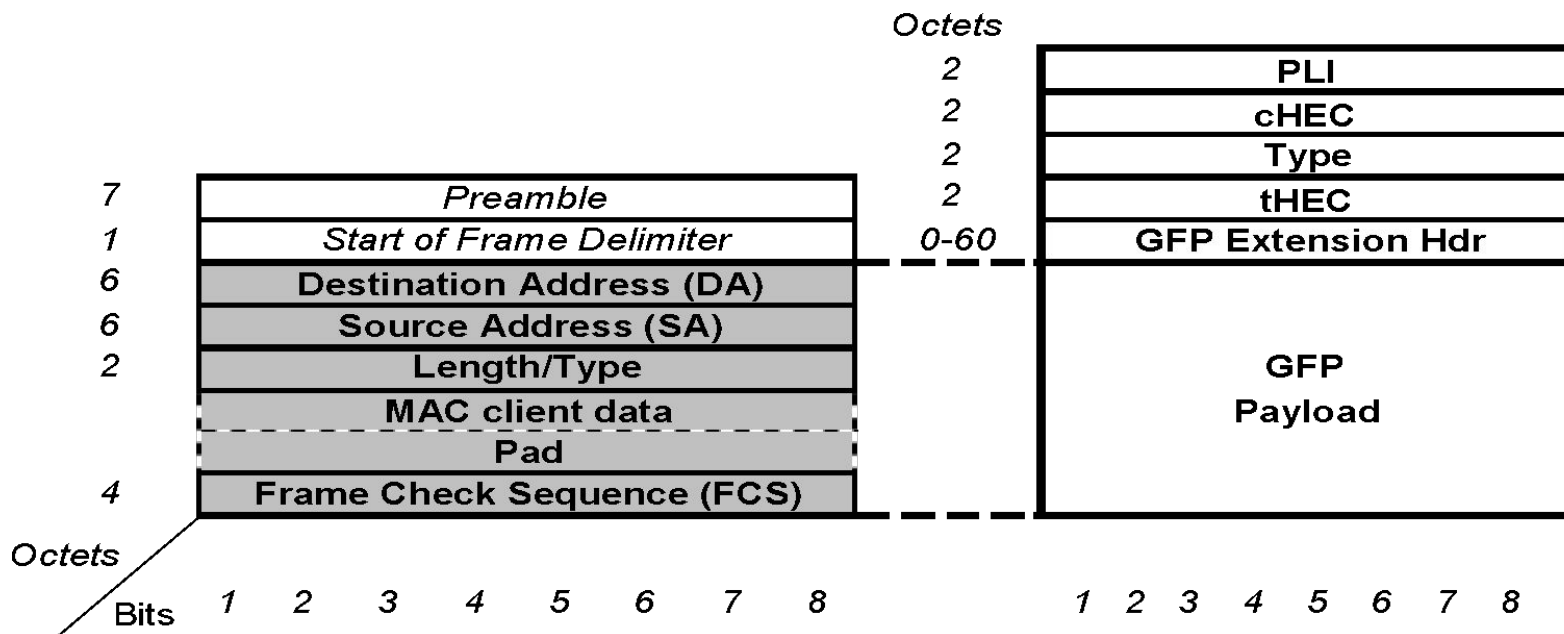


Передача потока Ethernet 10 Мбит/с через сеть SDH при помощи виртуальной группы VC-12-3v

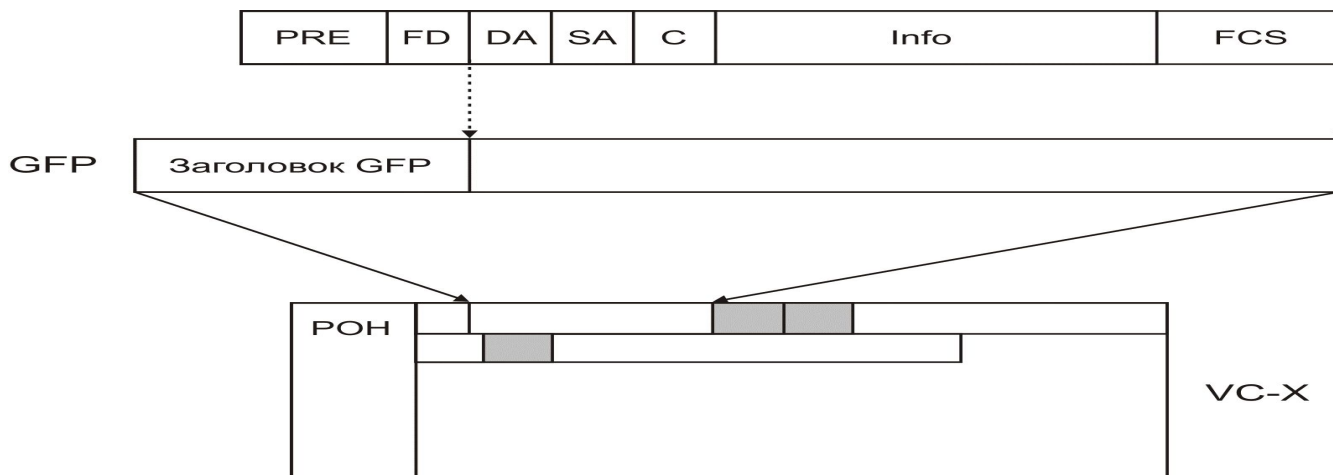
NEW GENERATION SDH (2)

Ethernet MAC Frame

GFP Frame



Размещение кадров Ethernet в кадрах GFP

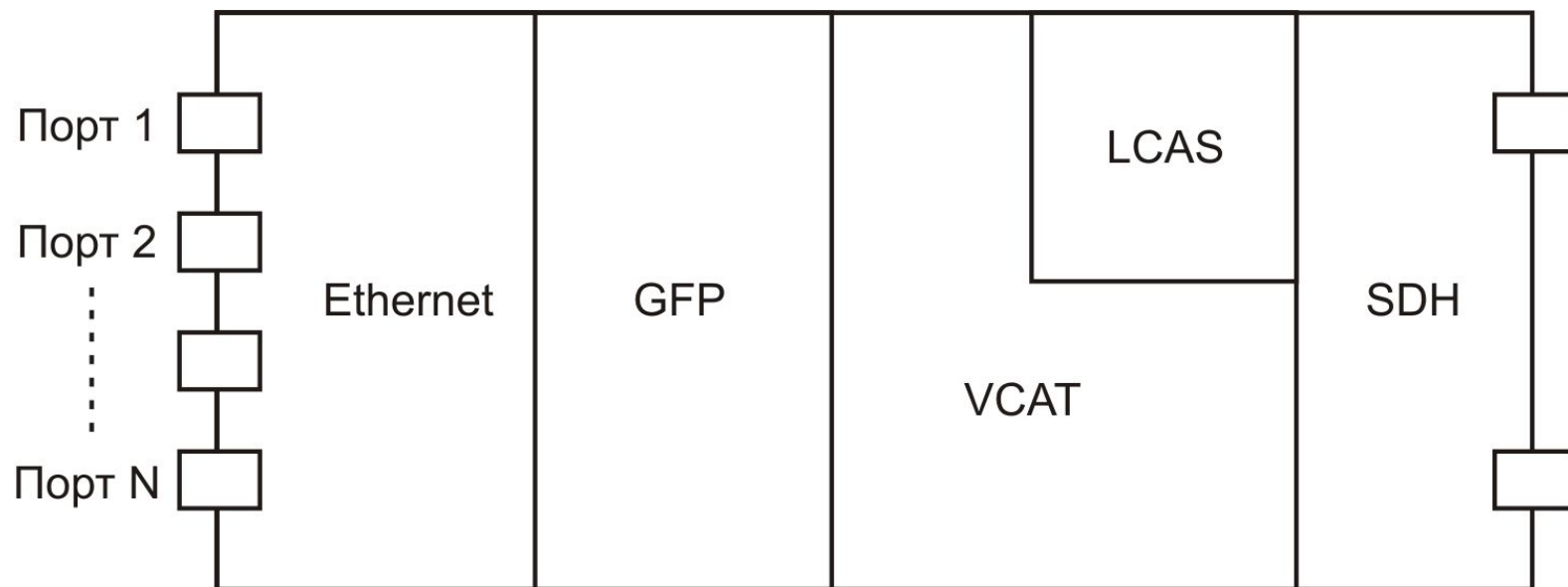


■ - Пустой кадр GFP

Размещение кадров GFP в виртуальном контейнере VC-X



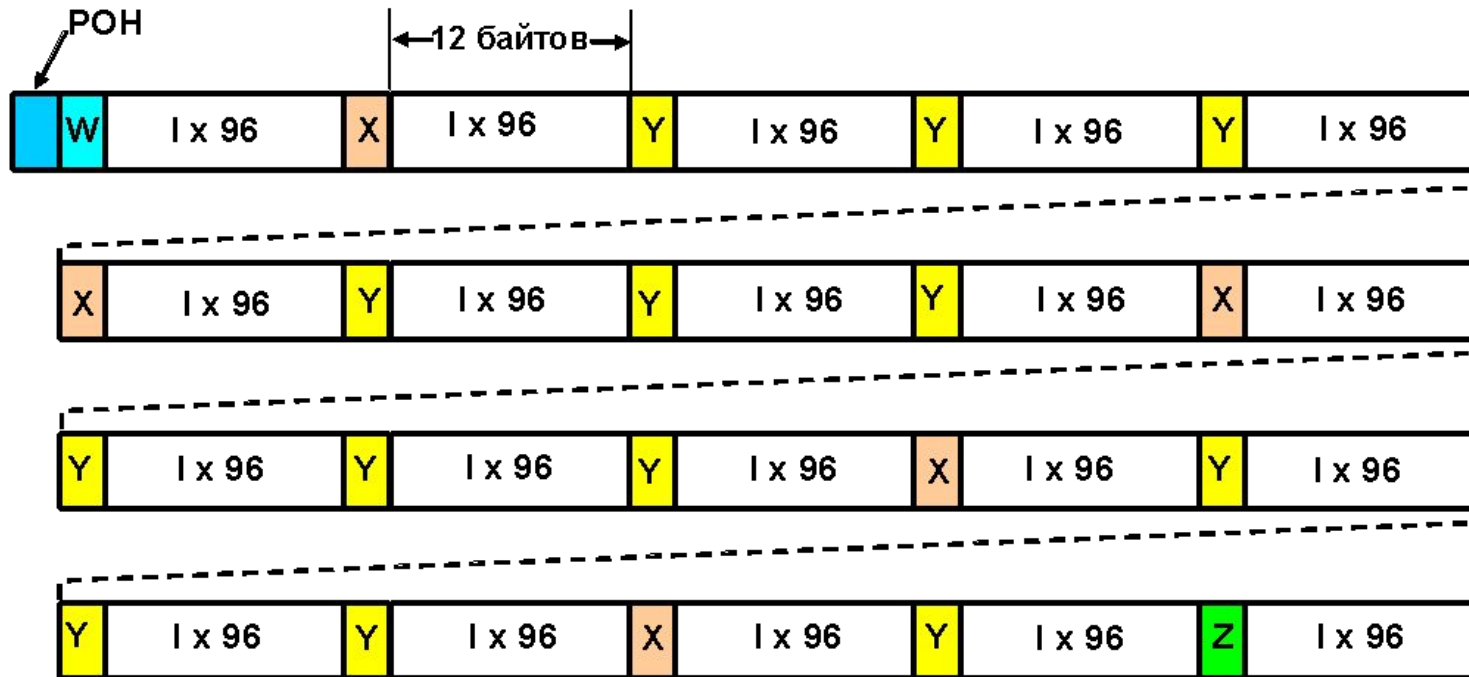
NEW GENERATION SDH (3)



Функциональная схема платы интегрированного доступа (ISA)

Как видно кадры Ethernet, поступающие на порты 10/100 Мбит/с, сначала преобразовываются в кадры формата GFP. Для передачи их через сеть SDH организуется виртуальная группа из N контейнеров вида VC-X-Nv. Для управления пропускной способностью виртуальной группы может использоваться сигнализация LCAS. Для передачи трафика Gigabit Ethernet используются платы с портами 1000 Мбит/с и виртуальная конкатенация виртуальных контейнеров VC-4. Платы ISA позволяют обеспечить транспортную службу («точка-точка»), для реализации более сложных услуг передачи кадров Ethernet поверх сетей SDH применяется технология MPLS (Multi Protocol Label Switching).

РАЗМЕЩЕНИЕ ПОТОКА 139,264 МБИТ/С В VC-4



W - I I I I I I I I I I

Y - R R R R R R R R R R

X - C R R R R R R O O

Z - I I I I I I S R

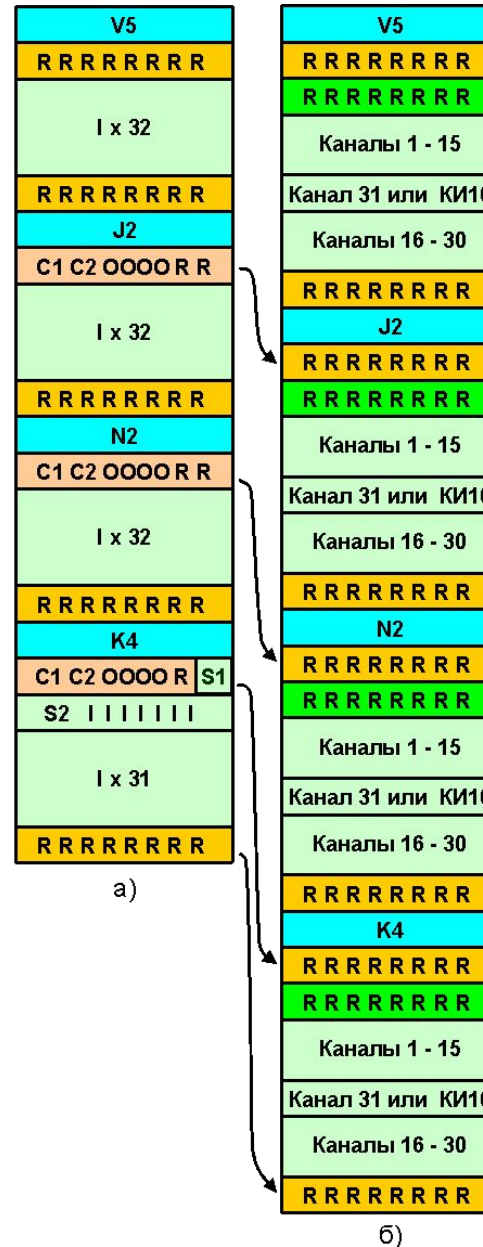
I - информационный бит
 R - бит фиксированной вставки
 O - бит канала связи заголовка
 S - бит возможного выравнивания
 C - бит команды выравнивания

CCCCC = 00000, S = I; CCCCC = 11111, S = R



РАЗМЕЩЕНИЕ ПОТОКА 2.048 МБИТ/С В VC-12:

- А) АСИНХРОННОЕ,
- Б) БАЙТ-СИНХРОННОЕ



I - информационный бит
 O - резервный бит заголовка
 C - бит управления
 выравниванием
 R - бит выравнивания
 S - бит фиксированной вставки
 C1C1C1 = 111, S1 = R
 C1C1C1 = 000, S1 = I
 То же для C2 и S2.

Байты ■ используются для передачи КИ0 в 30-канальном цикле и могут заменяться вставкой в 31-канальном.



СКОРОСТИ

Передача 40G в общем случае более чувствительна к оптическим параметрам системы, чем 10G:

- 4 x более раз (бдБ) к уровню оптического шума (OSNR)
 - 16 x более раз к Polarization Mode Dispersion (PMD) оптического волокна
 - 16 x более раз к Chromatic Dispersion (CD) оптического волокна
 - более чувствительна к внутриканальным нелинейным эффектам
- ⇒ для 10G, NRZ модуляция эффективна для большинства приложений
- ⇒ для 40G необходимо применять альтернативные форматы модуляции с тем, чтобы преодолевать физические ограничения

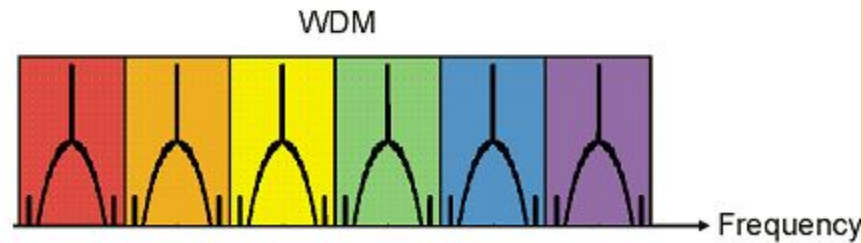
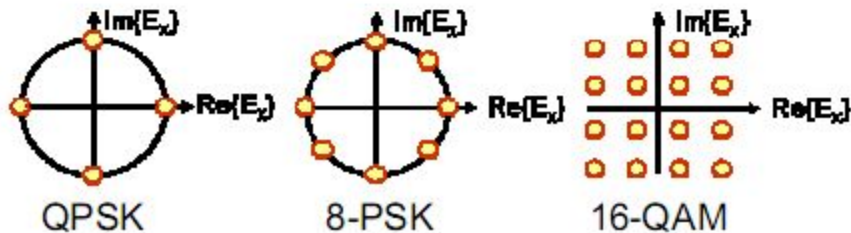
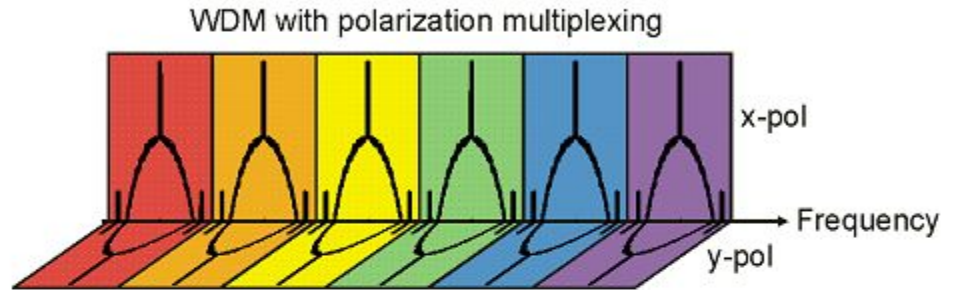
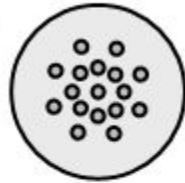
Передача 100G традиционными способами невозможна по техническим и экономическим причинам:

- Компенсация хроматической дисперсии второго порядка
- Компенсация поляризационных дисперсионных искажений (PMD)
- ...



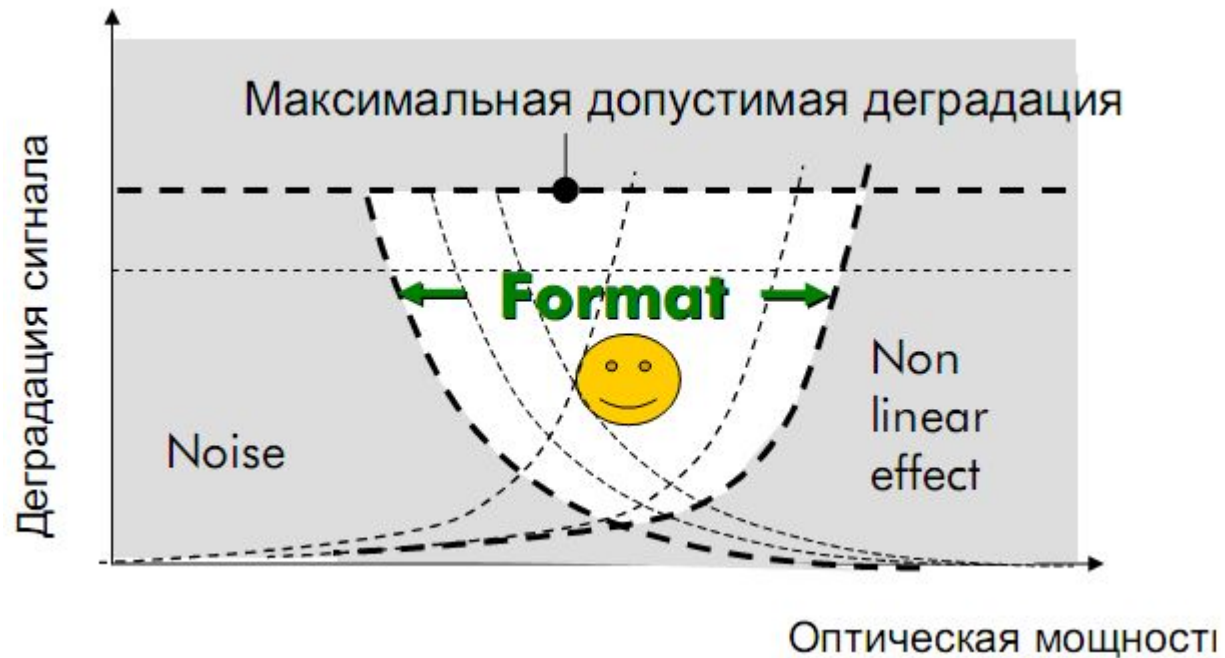
Как дальше масштабировать систему WDM?

Методы разделение сигналов в оптической связи



КАК УВЕЛИЧИТЬ СИСТЕМНЫЕ ЗАПАСЫ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ 40/100G WDM?

- Рамановское усиление : улучшает коэффициент шума (NF) усилителя и, таким образом, снижает ограничения на отношение сигнал/шум для оптического сигнала (OSNR)
- Коды с исправлением ошибок (FEC): повышают максимально допустимый уровень возможных искажений (ухудшений)
- Регулирование дисперсионных искажений: увеличивает пороги после которых начинаются нелинейные искажения
- Формат модуляции



40/100G: ВЫБОР ФОРМАТА МОДУЛЯЦИИ

Не существует формата модуляции, который бы одновременно преодолевал все возможные искажения при передаче

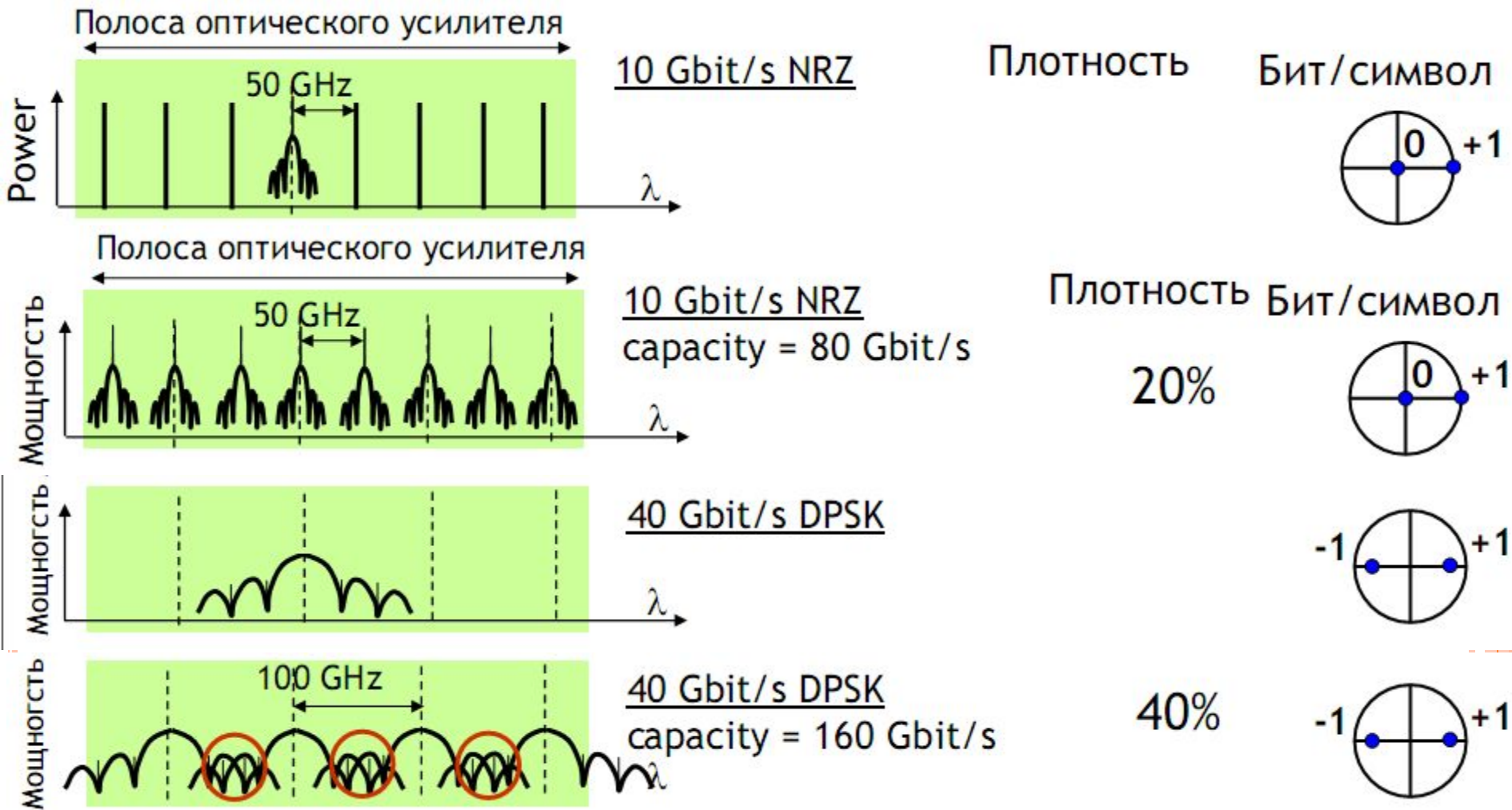
Различные форматы модуляции гарантируют достижение целей при разных условиях и требованиях при достижении компромисса между следующими требованиями:

- 1) Дальность передачи
 - 2) Совместимость с 10G трафиком
 - 3) Спектральная плотность (сетка размещения каналов)
 - 4) Подавление PMD
 - 5) Сложность, надежность, потребляемая мощность, занимаемый объем
- ...
- и стоимость!

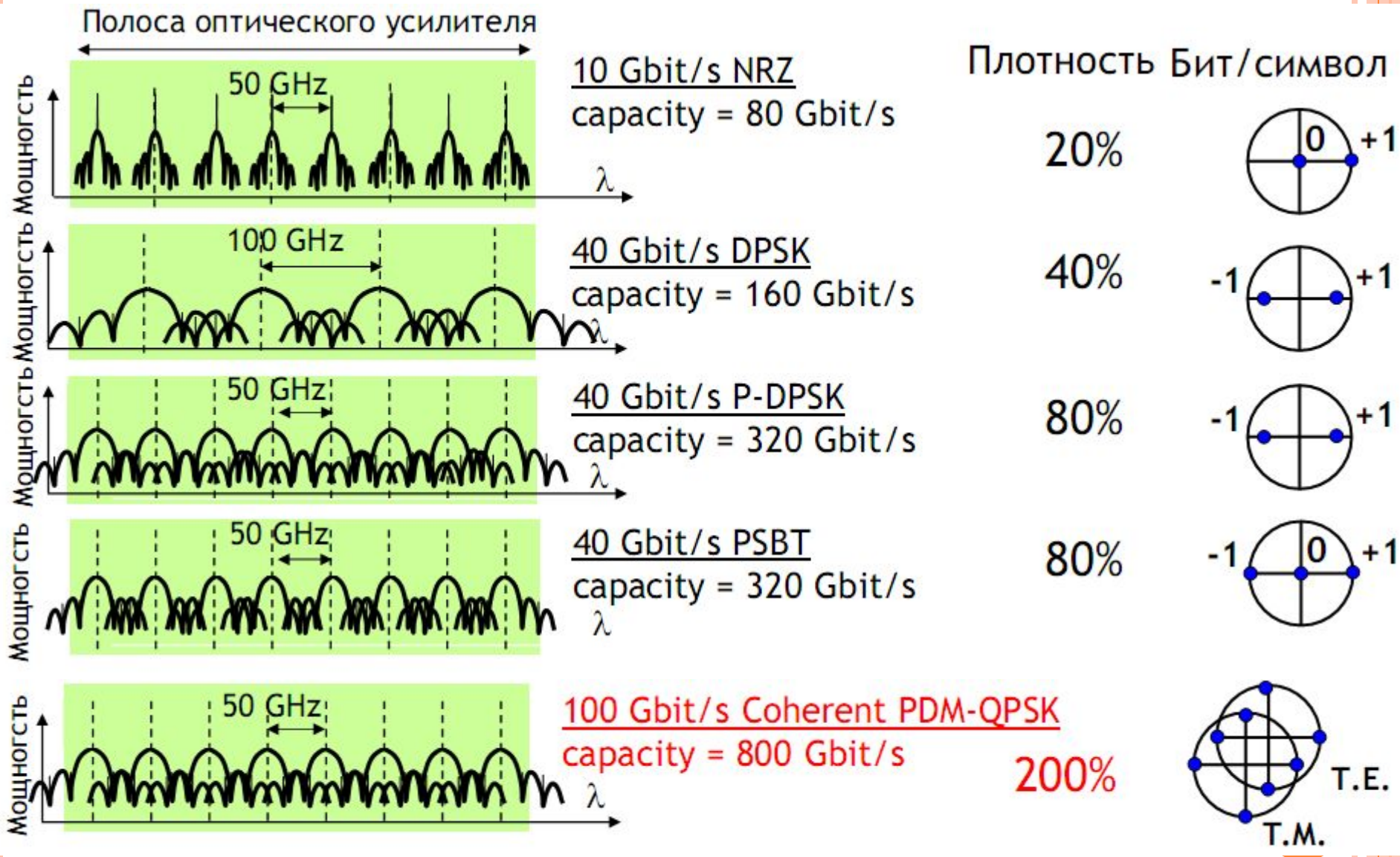
Нет формата модуляции, который был бы пригоден ко всем приложениям с минимальными затратами!



ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМ WDM ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ



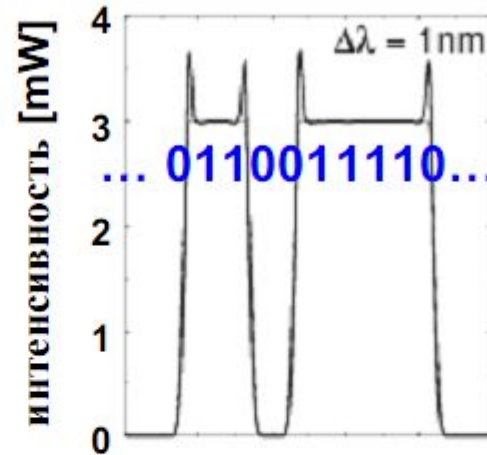
ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМ WDM ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ



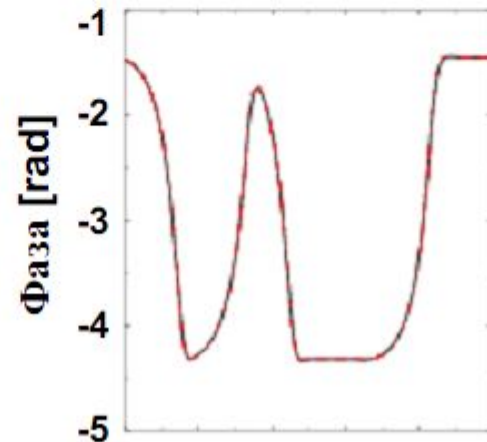
Кросс-фазовая модуляция. Что означает XPM?

XPM представляет собой
очень простой эффект:

В процессе
распространения по
оптическому волокну
интенсивность одного
канала приводит к
модуляции фазы в
соседних каналах



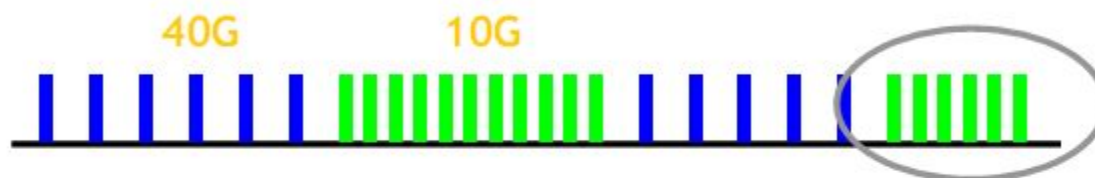
10G канал



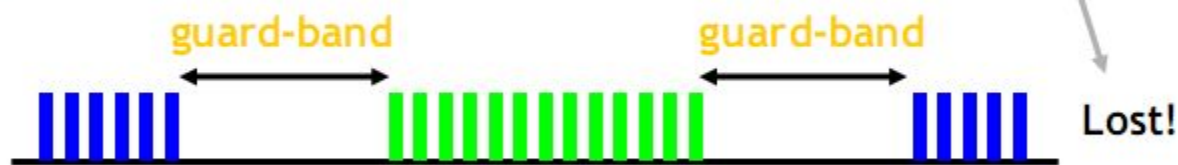
XPM на сигнале
40G xPSK

Совместная передача 10G и 40G

Решение с 40G каналами (DPSK) с сеткой 100GHz и 10G каналов с сеткой 50GHz, без защитного интервала:



Решение для 40G RZ-DQPSK или 40G Coherent PDM(DP)-QPSK и 10G с сеткой 50GHz, с защитным интервалом:



Необходимость в защитном интервале во втором случае значительно снижает пропускную способность и/или лишает гибкости системы при выборе длин волн для организации оптических каналов в С-диапазоне

40G когерентное решение второго поколения

40G PDM-BPSK с когерентным приемом

Для того, чтобы уменьшить влияние XPM искажений от 10G каналов, Alcatel –Lucent предложил 2-ое поколение **40G когерентного решения**, для которого скорость передачи в Бодах в два раза выше (20 ГБод) по сравнению с DP-QPSK

В этом случае имеется в виду комбинация:

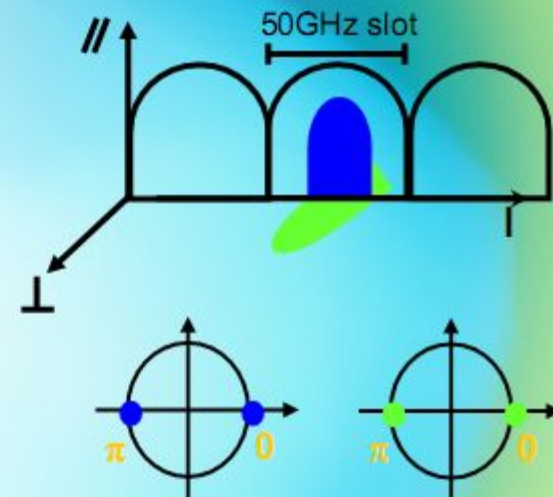
- **PDM** = Polarization Division Multiplexing
 - Означает то же самое, что и “DP” (Dual-Polarization) или Polarization Multiplexing)
- **BPSK** = **B**inary Phase Shift Keying

Уменьшает скорость передачи в символах только в два раза (с 40 до 20 ГБод)

- Каждый символ передает 2 бита (по одному на каждую поляризацию)

Coherent Detection + Digital Post-Processing компенсирует влияние искажений в линии:

- **PMD** перестает влиять (предельные PMD сдвигаются до 30 пс)
- Не требуется измерять и компенсировать **Chromatic Dispersion**



Когерентная система передачи 100G

Решение Alcatel-Lucent: 100G PDM-QPSK с когерентным приемом

На скорости 100G, некоторые эффекты, связанные с распространением сигнала в волокне (chromatic dispersion, PMD, single-channel nonlinearities) требуют **снижения скорости символов/сек (Бод)**

- Становятся необходимыми более сложные форматы модуляции и архитектура приемника

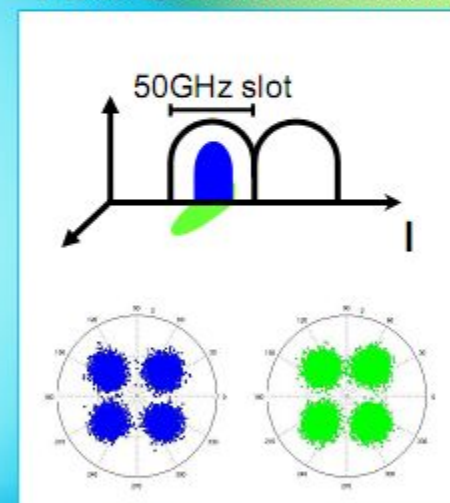
В этом случае имеется в виду комбинация:

- **PDM** = Polarization Division Multiplexing
 - то же значение, что и DP (Dual-Polarization)
- **QPSK** = Quadri-Phase Shift Keying
- Позволяет снизить скорость в символах в четыре раза (от 100 до 25 Гбод)
- Каждый символ переносит 4 бита

Coherent Detection + Digital Post-Processing компенсирует искажения в линейном тракте (PMD, Chromatic Dispersion):

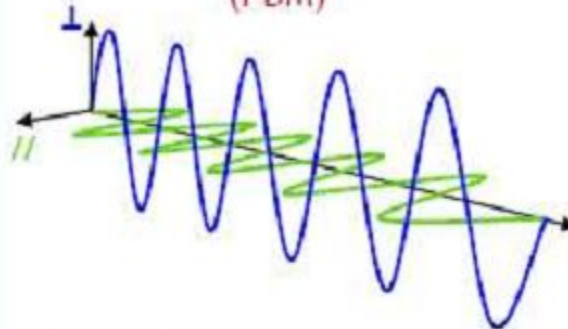
- **PMD** перестает влиять (предельные PMD сдвигаются до 30 пс)
- Не требуется измерять и компенсировать **Chromatic Dispersion**

PDM-QPSK modulation



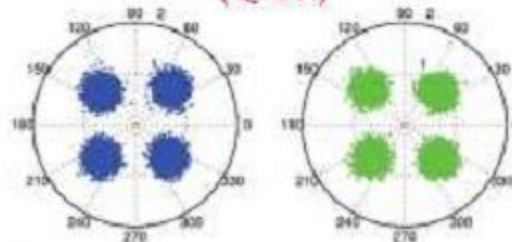
40/100G: ВЫБОР ФОРМАТА МОДУЛЯЦИИ

Polarization Division Multiplexing (PDM)



Single carrier travelling in the two light polarizations (50GHz slot)

Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)



Each polarization carries 4 phase-states (2 bits)



Стратегия Alcatel-Lucent в развитии и внедрении 100G

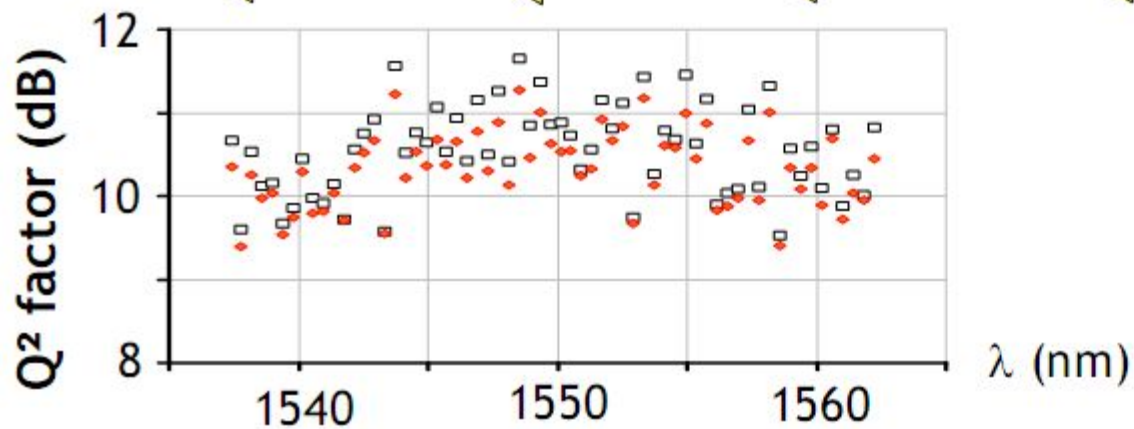
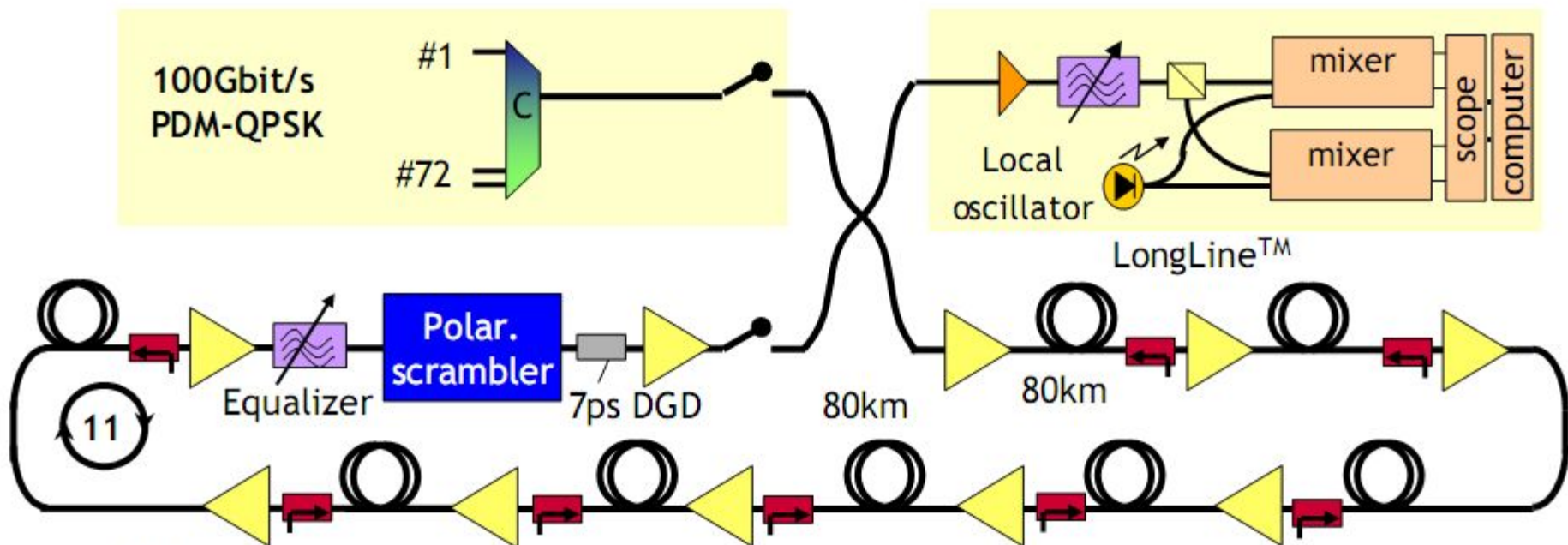
Описание решения

- PDM-QPSK с когерентным приемником
 - Цифровая обработка
 - Электронная **PMD** компенсация
- ⇒ до 30ps для PMD (90ps для DGD)
- Электронная **CD** компенсация: прорывная технология с компенсацией до **+/-40.000 ps/nm** (⇒ позволяет исключить *DCU* из линии!)

Характеристики

- | | |
|---------------------------|--|
| ▪ Прозрачная передача | >1.000 км с DCU (то есть с 10G)
(цель: 1500 км без DCU) |
| ▪ Сетка частот | 50 GHz |
| ▪ Количество каналов | 88 |
| ▪ Полная совместимость с/ | ранее установленным оборудованием |
| ▪ Полная совместимость с/ | существующими 10G & 40G каналами |

Экспериментальная подводная система передачи 72x100Gbit/s (7.2 Terabit/s) протяженностью 7,040 км



Первая в мире передача 100Гб/с на трансокеанские расстояния!