

# БЮДЖЕТ МОЩНОСТИ

## И НОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ ВОСП

**Р**асчет бюджета мощности волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) – один из ответственных этапов проектирования сетей SDH-WDM, выполняемых инженером-проектировщиком. Для оптических систем, работающих на скоростях до 2,5 Гбит/с, он проводился с использованием рекомендации ITU-T G.957. Появление систем SDH/WDM со скоростями 10 и 40 Гбит/с потребовало разработки новых рекомендаций на интерфейсы, описанные ниже и позволяющие рассчитывать бюджеты мощности таких высокоскоростных систем.

### БЮДЖЕТ МОЩНОСТИ

При расчете бюджета мощности ВОСП обычно определяются такие параметры [1], как:

- выходная мощность источника света;
- потери в волокне;
- потери, вносимые модулями компенсации дисперсии (если они есть);
- потери от оптических разъемов, сростков и соединительных шнуров;
- дополнительные потери мощности, которые вызваны, по Агравалу [2]:
  - распределением мощности по модам (что характерно для ММ-лазеров, например лазеров Фабри-Перо);
  - чирпом, или частотно-модулированным импульсом (т.е. уширением, вызванным сдвигом фаз (эффект ЛЧМ) оптического импульса, зависящего от времени; подробнее – в [1]);
  - обратной связью за счет отраженного сигнала;
  - недостаточным коэффициентом ослабления сигнала;
- требуемые допуски.

Выбор порога детектора (в единицах дБм) основан на требуемом/желаемом уровне ошибок BER, зависящим от скорости, используемой в ВОСП. Дополнительно к этому при расчете бюджета мощности системы могут понадобиться:

- усиление оптических усилителей (ОУ, если они есть);
- потери в фильтрах (при использовании WDM);
- пассивные потери WDM (см. [3] для WDM и [4] для WDM/DWDM);
- потери в разветвителях [5];
- вносимые потери изоляторов.

При расчете бюджета линии используется децибелльная мера (дБ и дБм).

Расчет бюджета можно вести либо вычисляя (присваивая) значение параметров, перечисленных выше, либо оценивая некоторые наиболее значимые (специфические) потери. Конечная цель в том, чтобы получить проект, способный удовлетворить предъявленным (например, в ТЗ) требованиям. При этом мы должны рассчитывать *бюджет мощности*, если основными в ВОСП являются потери на затухание (что обычно имеет место вплоть до скоростей передачи

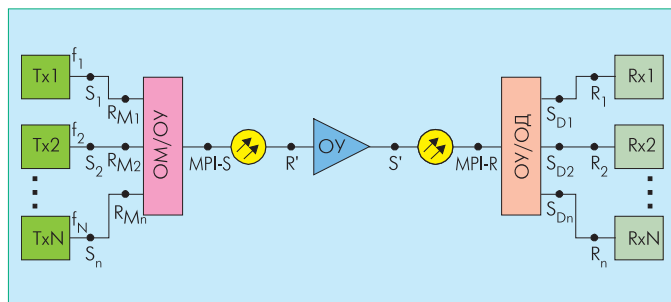


Рис. 1 Схема эталонной ВОЛС с опорными точками  $S_i$  (передача) и  $R_i$  (прием):  $OM$  – оптический мультиплексор;  $OY$  – оптический усилитель;  $OD$  – оптический демultipлексор;  $MPI$  – интерфейс основного маршрута/тракта – интерфейс в точке сопряжения ВОК с приемопередатчиком

2,5 Гбит/с – STM-16). Для более высоких скоростей следует дополнительно проверять, ограничена ли ВОЛС (на базе которой строится ВОСП) по дисперсии, и оценивать *бюджет времени нарастания* [1], а для этого нужно знать или оценить скорости нарастания элементов ВОСП.

### ДОПУСКИ ДЛЯ ЛИНИИ СВЯЗИ

*Допуски для линии связи* – это дополнительные децибелы, добавляемые к бюджету мощности линии в качестве *гарантии безотказной работы ВОЛС* (волоконно-оптической линии связи). Эти допуски должны гарантировать возможность компенсации непредвиденных потерь в линии, вызванных: ухудшением со временем характеристик активных элементов (например, лазерных диодов – ЛД), разбросом потерь на сростках, увеличением потерь при работе с большим перепадом температур и при большой влажности.

Рекомендуется иметь суммарный допуск порядка 6 дБ для систем дальней связи, хотя многие производители ограничивают эту величину 4,8 или даже 3 дБ [1]. Рекомендация ИТУ-T G.957 [6] предписывает выделять 2–4 дБ для покрытия

потерь оборудования в конце срока службы. В ней утверждается, что допуски на затухание даются в расчете на худший случай, включающий потери на сростки, оптические разъемы, аттенюаторы, другие пассивные оптические устройства, а также допуски на кабель, выбираемые для покрытия потерь от:

- последующей модификации/ремонта кабелей прокладки (дополнительные сростки, ремонтные вставки, увеличение длины кабеля и т. д.);
- изменения характеристик кабеля в зависимости от влияния окружающей среды;
- деградации оптических разъемов и аттенюаторов или других пассивных оптических устройств между точками  $S_i$  и  $R_i$ , если они указываются.

Рекомендации G.957 (SDH) [6] и G.662 (OY) [7] определяют точки  $S_i$  как точки на оптическом волокне (ОВ) сразу за оптическим разъемом передатчика ( $Tx_i$ ), а точки  $R_i$  – как точки на ОВ непосредственно перед оптическим разъемом приемника ( $Rx_i$ ). Эти опорные точки рекомендаций ИТУ-T (МСЭ) для систем SDH/WDM (в общем случае с  $n$  несущими) показаны на рис.1 (подробнее см. [5, с.120]).

Таблица 1. Типы секций, расстояния, длины волн и допуски

| Параметр / Тип секции                        | Внутри-офисная    | Короткая секция (1) | Короткая секция (2) | Длинная секция (1) | Длинная секция (2) | Длинная секция (3) |
|--|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Длина волны, нм                              | 1310              | 1310                | 1550                | 1310               | 1550               | 1550               |
| Тип волокна                                  | G.652             | G.652               | G.652               | G.652              | G.654              | G.653              |
| Длина секции, км                             | ≤2                | ~15                 | ~15                 | ~40                | ~80                | ~80                |
| Код секции (код использования) <sup>а)</sup> | I-1/4/16          | S-1/4/16.1          | S-1/4/16.2          | L-1/4/16.1         | L-1/4/16.2         | L-1/4/16.3         |
| Мощность передатчика 155 Мбит/с, дБм         | -15...-8          | -15...-8            | -15...-8            | -5...0             | -5...0             | -5...0             |
| Мощность передатчика 622 Мбит/с, дБм         | -15...-8          | -15...-8            | -15...-8            | -3...+2            | -3...+2            | -3...+2            |
| Мощность передатчика 2,5 Гбит/с, дБм         | -10...-3          | -5...0              | -5...0              | -2...+3            | -2...+3            | -2...+3            |
| Порог <sup>б)</sup> 155 Мбит/с, дБм          | -23 <sup>в)</sup> | -28                 | -28                 | -34                | -34                | -34                |
| Порог <sup>б)</sup> 622 Мбит/с, дБм          | -23               | -28                 | -28                 | -28                | -28                | -28                |
| Порог <sup>б)</sup> 2,5 Гбит/с, дБм          | -18               | -18                 | -18                 | -27                | -27                | -27                |
| Диапазон ослабления сигнала, дБ              | 0-7/7/7           | 0-12/12/12          | 0-12/12/12          | 10-28/24/24        | 10-28/24/24        | 10-28/24/24        |
| Допуск приемника, дБ                         | 3                 | 3                   | 3                   | 4                  | 4,8                | 4,8                |

Примечание: а) код использования, см. G.957 и G.662 [6,7]; б) порог детектора (минимальная чувствительность) в опорной точке R для  $BER=10^{-10}$ ; для  $BER=10^{-12}$  он будет на 1 дБ менее чувствительным (что означает добавление 1 дБ), т.е. исходный порог -23 дБ становится порогом -22 дБ; в) требует аттенюатора или источника с укороченным диапазоном действия, чтобы избежать перегрузки приемника.

**Таблица 2.** Примеры применения кода PnWx-ytz

| Код использования | Этот код множественный? | Максимальное число каналов | Затухание на пролете | Число пролетов | Триб высшего класса | Уровень мощности ОУ | Тип ОВ |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|----------------|---------------------|---------------------|--------|
| P111-1D1          | Да                      | 1                          | 6 дБ                 | 1              | NRZ 2,5 Гб/с        | ОУ нет              | G.652  |
| P16S1-2C5         | Да                      | 16                         | 11 дБ                | 1              | NRZ 10 Гб/с         | только ПУ (P)       | G.655  |
| 16S1-2B5          | Нет                     | 16                         | 11 дБ                | 1              | NRZ 10 Гб/с         | только МУ (B)       | G.655  |

Примечание. Тип стандартного оптического блока – OTU2 (см. G.959.1 [10])

Старые рекомендации ITU-T G.957 и G.662 [6,7] для скоростей 155, 622 Мбит/с и 2,5 Гбит/с определяют три типа ОВ-секций: I, S и L, основываясь на их длине, как показано в табл.1 [6].

В ней же для наглядности приведены: мощность передатчика (минимальная и максимальная) и порог (или минимальная чувствительность) для разных скоростей передачи, диапазон ослабления (равный величине: "порог-1-минимальная мощность передатчика") и допуск приемника.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ ITU-T (МСЭ) ДЛЯ STM-1/4/16

В рекомендации G.957 [6] приведены более подробные таблицы параметров, чем в сводной табл.1. Проектировщик при сопоставлении приведенных в них данных с данными, полученными в результате расчета бюджета мощности для какого-то проекта, должен учитывать некоторые нюансы (три из них для примера указаны ниже).

1. Нужно иметь в виду, что максимальная мощность передатчика может быть (например, при скорости 2,5 Гбит/с для секции L) как +3 дБм, так и существенно больше, если используется ОУ типа бустера или мощного усилителя (МУ). Точные значения зависят от конкретных обстоятельств, в частности от длины пролета.

2. Передатчик в опорной точке S<sub>i</sub> может иметь в качестве источника излучения различные приборы: непрерывный светодиод СД (LED), многомодовый лазерный диод МЛД (MLM), и одномодовый лазерный диод ОЛД (SLM) и другие диоды, отличающиеся типом и шириной спектра (параметр FWHM): от 80 нм (LED) до 1 нм (MLM).

3. При тестировании, на основании которого были получены данные в таблицах G.957, использовалось линейное NRZ-кодирование. Выбор типа линейного кодирования – важная часть процесса проектирования ВОЛС. Если это кодирование не NRZ, а, например, RZ (или другое), то расчетные результаты могут отличаться от указанных в G.957.

Таблицы в G.957 дают параметры так, как они определены в рекомендациях ITU-T для оптического интерфейса STM-1 (155 Мбит/с) – см. табл.2 G.957, STM-4 (622 Мбит/с) – см. табл.3 G.957 и STM-16 (2,488 Гбит/с) – см. табл.4 G.957.

### ОДНОКАНАЛЬНЫЕ И МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИНТЕРФЕЙСЫ

#### Новые таблицы ITU-T (МСЭ) для STM-4/16/64/256

В новых рекомендациях ITU-T: G.691, G.693 и G.959.1 [8–10] были разработаны, с одной стороны, интерфейсы типа I, S и L для высоких скоростей – 10 и 40 Гбит/с (приведенные в табл.2), для идентификации которых были введены индексы r, указывающие на уменьшенную (против стандартных) длину интерфейса (дань негативного влияния поляризационной модовой дисперсии – PMD). С другой стороны, под влиянием прогресса в области ОУ были разработаны новые типы секций, аналогичные тем, что были стандартизованы для систем WDM: *очень длинные секции* – типа V и *сверхдлинные секции* – типа U, которые предполагалось использовать в том числе и для низких скоростей 0,622 и 2,5 Гбит/с (табл.3). Эти интерфейсы имеют свои *коды использования* (отличные от кодов, применяемых ранее в G.957 [3,5]), которые и описаны ниже.

#### КОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ОПИСАННЫЙ В G.693 [9]

Этот код имеет следующую структуру:

**W-yAz**, где используются параметры:

**W** – VSR d – очень короткая секция длиной d (в метрах!): VSR600; VSR1000; VSR2000, соответственно;

**y** – наивысший класс поддерживаемого оптического триба: 2 – NRZ 10G (10 Гбит/с); 3 – NRZ 40G (40 Гбит/с);

**A** – категория допустимого ослабления сигнала на длине секции, дБ: R – 4; L – 6; M – 12; H – 16; V – в стадии рассмотрения;

**z** – номер используемого оптического окна и тип ОВ: 1 – 1310 нм, G.652; 2 – 1550 нм, G.652; 3 – 1550 нм, G.653; 5 – 1550 нм, G.655.

**Таблица 3а.** Расстояния и длины волн для секций типа I для STM-64

| Параметры / Тип секции              | Секция типа I (офисная) |             |            |          |          |          |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------|------------|----------|----------|----------|
|                                     |                         |             |            |          |          |          |
| Длина волны, нм                     | 1310                    | 1310        | 1550       | 1550     | 1550     | 1550     |
| Тип волокна                         | G.652                   | G.652       | G.652      | G.652    | G.653    | G.655    |
| Расстояние, км                      | ≤0,6                    | 2           | 2          | 25       | 25       | 25       |
| Код секции для STM-64 <sup>а)</sup> | I-64.1r                 | I-64.1      | I-64.2r    | I-64.2   | I-64.3   | I-64.5   |
| Код использования <sup>б)</sup>     | VSR600-2R1              | VSR2000-2R1 | VSR600-2L2 | P1I1-2D2 | P1I1-2D3 | P1I1-2D5 |
| Смотри в рекомендациях              | G.693                   | G.693       | G.693      | G.959.1  | G.959.1  | G.959.1  |
| Диапазон ослабления, дБ             | 0–4                     | 0–4         | 0–6        | 0–7      | 0–7      | 0–7      |

Примечание: а) код секции, см. G.957 [6], б) код использования, см. в G.693 (первые 3 секции – табл.2а) [9], и в G.959.1, табл.8.5 [10] (остальные).

**Таблица 3б.** Расстояния и длины волн для секций типа S и L для STM-64

| Параметры / Тип секции              | Секции типа S и L |          |          |          |          |             |          |
|-------------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|
|                                     |                   |          |          |          |          |             |          |
| Длина волны, нм                     | 1310              | 1550     | 1550     | 1550     | 1310     | 1550        | 1550     |
| Тип волокна                         | G.652             | G.652    | G.653    | G.655    | G.652    | G.652       | G.653    |
| Расстояние, км                      | 20                | 40       | 40       | 40       | 40       | 80          | 80       |
| Код секции для STM-64 <sup>а)</sup> | S-64.1            | S-64.2   | S-64.3   | S-64.5   | L-64.1   | L-64.2a,b,c | L-64.3   |
| Код использования <sup>б)</sup>     | P1S1-2D1          | P1S1-2D2 | P1S1-2D3 | P1S1-2D5 | P1L1-2D1 | P1L1-2D2    | P1L1-2D3 |
| Параметры смотри в рекомендации     | G.959.1           | G.959.1  | G.959.1  | G.959.1  | G.959.1  | G.691       | G.691    |
| Диапазон ослабления сигнала, дБ     | 6–11              | 7–11     | 3–11     | –        | 16–22    | 11–22       | –        |

Примечание: а) код секции, см. G.691 [8]; б) код использования, см. в G.959.1 [10].

**Таблица 3в.** Расстояния и длины волн для секций типа V и U для STM-4/16/64

| Параметры / Тип секции              | Секции типа V и U |                |                |          |          |
|-------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------|----------|
|                                     |                   |                |                |          |          |
| Длина волны, нм                     | 1310              | 1550           | 1550           | 1550     | 1550     |
| Тип волокна                         | G.652             | G.652          | G.653          | G.652    | G.653    |
| Расстояние, км                      | 60                | 120            | 120            | 160      | 160      |
| Код секции для STM-4                | V-4.1             | V-4.2          | V-4.3          | U-4.2    | U-4.3    |
| Параметры см. в рекомендации G.691  | Табл.3            | Табл.3         | Табл.3         | Табл.3   | Табл.3   |
| Код секции для STM-16               | –                 | V-16.2         | V-16.3         | U-16.2   | U-16.3   |
| Параметры смотри в рекомендации     | –                 | G.691,табл.4   | G.691,табл.4   | G.959.1  | G.959.1  |
| Код использования                   | –                 | –              | –              | P1U1-IA2 | P1U1-IA3 |
| Код секции для STM-64 <sup>а)</sup> | –                 | V-64.2         | V-64.3         | U-64.2   | U-64.3   |
| Параметры смотри в рекомендации     | –                 | G.691, табл.5d | G.691, табл.5d | G.959.1  | G.959.1  |

**Таблица 4.** Параметры интерфейсов IrDI для секций STM-256 типа S и L

| Код использования                           | P1S1-3C2,3,5               | P1L1-3A2,3,5 | P1L1-3C2,3,5FD | P1L1-3C2,3,5F |
|---|----------------------------|--------------|----------------|---------------|
| Расстояние, км                              | 20                         | 40           | 40             | 40            |
| Код секции STM-256                          | S-256.2,3,5                | L-256.2,3,5  | L-256.2,3,5    | L-256.2,3,5   |
| Диапазон выходной мощности, дБм             | -3...3                     | 5...8        | 2 ... 5        | 2...5         |
| Диапазон ослабления сигнала, дБ             | 0...11                     | 11...22      | 11...22        | 11...22       |
| Максимальная хроматическая дисперсия, пс/нм | 800/140/400                | 1600/280/800 |                |               |
| Минимальная чувствительность, дБм           | -17                        | -20          | -22            | -23           |
| Частота несущей / длина волны               | 192,1 ТГц / 1560,606 нм    |              |                |               |
| Тип волокна                                 | G.652(2)/G.653(3)/G.655(5) |              |                |               |

Примечание: 1. Уровень BER после коррекции ошибок для всех секций  $10^{-12}$ ; 2. Секции с суффиксами F используют FEC (обычно коды Рида-Соломона), а с суффиксом D – электронную компенсацию дисперсии; 3. Девиация частоты несущей – 40 ГГц; 4. Тип приемников излучения –SLM.

**Таблица 5.** Классификация многоканальных интерфейсов между доменами

| Параметры / Тип секции         | Внутриофисная секция (I)        |           |           | Короткая секция(S)              |           |                     |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------|-----------|---------------------|
|                                | 1550 (частотный план G.694.1)б) |           |           | 1550 (частотный план G.694.1)б) |           |                     |
| Длина волны, нм                | 1550 (частотный план G.694.1)б) |           |           | 1550 (частотный план G.694.1)б) |           |                     |
| Тип волокна                    | G.652                           | G.653     | G.655     | G.652                           | G.653     | G.655               |
| Длина секции, км <sup>а)</sup> | 20                              | 2         | 20        | 40                              | 40        | 40                  |
| Трибы класса NRZ 2,5 Гбит/с    | –                               | –         | –         | P16S1-1D2                       | –         | P16S1-1D5           |
| Трибы класса NRZ 10 Гбит/с     | P16I1-2D2                       | P16I1-2D3 | P16I1-2D5 | P16S1-2B2 P16S1-2C2             | P16S1-2C3 | P16S1-2B5 P16S1-2C5 |

Примечание: а) длина секции приближительна и используется только для классификации; б) см. табл.8-1 G.959.1.

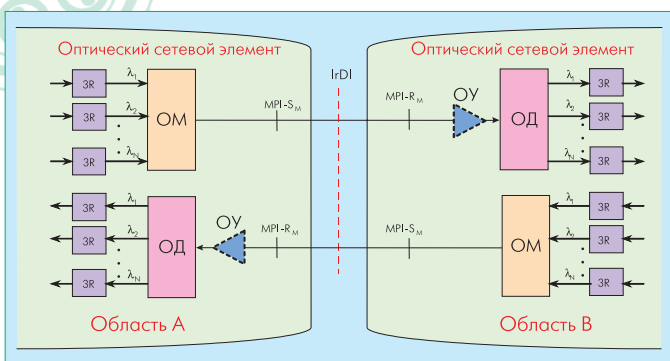


Рис.2 Пример приложений, использующих только предусилители

**КОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ОПИСАННЫЙ В G.959.1 [10]**

Для однонаправленных систем этот код имеет следующую структуру:

**PnWx-ytz**, где используются следующие параметры:

**P** – множественный (plural): одноканальный или многоканальный интерфейс класса IrDI (Inter-Domain Interface – интерфейс между доменами) для сигнала передаваемого оптического триба [3];

**n** – максимальное число каналов, поддерживаемое данным кодом использования;

**W** – символ, указывающий длину пролета и затухание, соответствующее ему:

**I** – внутриофисный пролет с затуханием до 7 дБ;

**S** – короткий пролет с затуханием до 11 дБ;

**L** – длинный пролет с затуханием до 22 дБ;

**V** – очень длинный пролет с затуханием до 33 дБ;

**x** – максимально допустимое число пролетов;

**y** – наивысший класс поддерживаемого оптического триба: 1 – NRZ 2.5G (2,5 Гбит/с); 2 – NRZ 10G (10 Гбит/с); 3 – NRZ 40G (40 Гбит/с); 7 – RZ 40G (40 Гбит/с);

**t** – категория допустимого уровня мощности: A – при наличии МУ у передатчика, ПУ у приемника; B – при наличии только МУ; C – при наличии только ПУ; D – вообще без ОУ (где МУ – мощный ОУ, или бустер; ПУ – предварительный ОУ);

**z** – номер используемого окна и тип ОВ: 1 – 1310 нм, G.652; 2 – 1550 нм, G.652; 3 – 1550 нм, G.653; 5 – 1550 нм, G.655.

Чтобы данный код использования был более понятен, в табл.2 приведены примеры применения с расшифровкой параметров.

Для двунаправленных систем этот код имеет следующую структуру:

**BnWx-ytz**, где:

**B** – Bidirectional – означает, что используется двунаправленная передача.

Для некоторых специальных вариантов применения используется один из пяти суффиксов:

**F** – указывает на использование байтов кода FEC (кода упреждающей коррекции ошибок), определяемых в ИТУТ G.709;

**D** – указывает на использование адаптивной компенсации дисперсии;

**r** – указывает на использование укороченной длины пролета, ввиду ограничений по дисперсии (PMD);

**a** – указывает, что уровень мощности передатчика соответствует использованию лавинно-пролетного ЛФД-приемника (APD);

**b** – указывает, что уровень мощности передатчика соответствует использованию PIN-приемника.

В частности, в G.691 (табл.1a,b,c) приведены типы секций, разработанные для STM-64 (10 Гбит/с), а в G.693 (табл.1,2) приведены типы секций, которые могут быть использованы для STM-64 и STM-256 (40 Гбит/с). Эти типы секций представлены ниже в табл.3a,b,v.

Кроме того, параметры одноканальных интерфейсов IrDI для короткой и длинных секций STM-256 (40 Гбит/с) приведены в ИТУТ G.959.1, табл.8–11 [10]. Они кратко представлены в табл.4

Ориентируясь на рекомендацию G.662 [7] и используя обозначения МУ (ВА), ЛУ (линейный ОУ – LA) и ПУ (РА) [3,5], можно сконфигурировать семь различных вариантов многопролетного участка ВОЛС с одним передающим (Tx) и одним приемным (Rx) терминальными мультиплексорами, где ЛУ может быть один (однопролетный участок) или несколько (многопролетный участок):

Вариант 1: Tx + МУ + Rx;

Вариант 2: Tx + ПУ + Rx;

Вариант 3: Tx + ЛУ + Rx;

Вариант 4: Tx + МУ + ПУ + Rx;

Вариант 5: Tx + МУ + ЛУ + Rx;

Вариант 6: Tx + ЛУ + ПУ + Rx;

Вариант 7: Tx + МУ + ЛУ + ПУ + Rx.

**МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ МЕЖДУ ДОМЕНАМИ IRDI**

Многоканальные интерфейсы между доменами типа IrDI (G.959.1) направлены на обеспечение совместимости между различными производителями оборудования. Эти интер-

фейсы могут работать на ОВ типа G.652, G.653 или G.655 и передавать одновременно до 16 оптических каналов, используя оптические трибы класса NRZ 2.5G (2,5 Гбит/с) или NRZ 10G (10 Гбит/с) в зависимости от конкретного кода использования. Те же самые оптические параметры применимы и ко всем кодам использования, приведенным в табл.8-1 G.959.1. Эти коды объединены в табл.5-2 G.959.1 и представлены ниже в табл.5. Напоминаем, что при использовании многоканальных интерфейсов типа IrDI назначение частот несущих осуществляется в соответствии со стандартным частотным планом G.694.1 [12], используемых в системах DWDM.

Приложения, применяющие только ПУ, имеют символ С в коде использования (рис.2); только МУ (бустеры) – символ В, а вообще не применяющие ОУ – символ D.

Материал, изложенный в данной статье, лишь важный и нужный для расчета бюджета мощности фрагмент того большого пласта, который называется проектированием ВОСП, которые используют технологии SDH/WDM. Общие контуры этого пласта изложены, например, в курсе [4]. Более детальное представление пока можно получить, только складывая мозаику из фрагментов, изложенных в [1–12], да и то лишь частично.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Фриман Р.** Волоконно-оптические системы связи. – 2-е доп. изд. / Под ред. Н.Н.Слепова. – М.: Техносфера, 2006. – 496с.
2. **Agraval G.P.** Fiber optics communications systems. – 2nd ed. – John Wiley & Sons, N.Y., 1997.
3. **Слепов Н.Н.** Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – 2-е изд. испр. – М.: Радио и связь, 2003. – 468с.
4. SDH & WDM Transport Network Planning. – Ericsson, 2001.
5. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы / Под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: АО "ВОТ", 2005. – 576с.
6. ITU-T G.957 – Optical Interfaces for Equipments and Systems Relating to the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (95, 7.99); Amendment 1, 2 (12.03;1.05).
7. ITU-T G.662 – Generic characteristics of optical fiber amplifier devices and subsystems (10.98;7.05).
8. ITU-T G.691 – Optical interfaces for single-channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers (12.03;3.06).
9. ITU-T G.693 – Optical interfaces for intra-office systems (1.05;5.06).
10. ITU-T G.959.1 – Optical transport network physical layer interfaces (2.01,12.03).
11. ITU-T G.663 –Application related aspects of optical fiber amplifier devices and subsystems (96,4.00). Amendment 1 – Amendments to Appendix II (1.03).
12. ITU-T G.694.1 – Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid (6.02).