

ПАРАМЕТРЫ ЦЕПИ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ WDM

ПАРАМЕТРИ КОЛА МУЛЬТИПЛЕКСОРІВ WDM

PARAMETERS OF CHAIN OF WDM MULTIPLEXERS

Аннотация. Рассматриваются способы оценки параметров оптических каналов при переоборудовании SDH на WDM.

Анотація. Розглядаються способи оцінки параметрів оптичних каналів при переобладнанні SDH на WDM.

Summary. The methods of estimation of optical channels parameters at the SDH on WDM re-equipment are considered.

Проблема повышения эффективности функционирования существующих линий передачи телекоммуникационной сети, оборудованных волоконно–оптическими системами передачи синхронной иерархии ВОСП-SDH, решается сегодня многими операторами путём переоборудования, т.е. замены мультиплексоров SDH на мультиплексоры ВОСП с технологией волнового мультиплексирования – WDM [1, 2, 3] (спектрального разделения каналов – СПК). Эта технология является основой транспортной составляющей сети следующего поколения – NGN [4].

Архитектура существующих сетей на основе ВОСП-SDH, в основном, – кольцевая, радиально-кольцевая. В этих структурах в качестве сетевых элементов используются как терминальные мультиплексоры, так и мультиплексоры ввода/вывода (ADM). В качестве мультиплексоров ввода/вывода в ВОСП-WDM всё чаще используют оптические мультиплексоры ввода/вывода (OADM), в которых только в тех оптических каналах (ОК), которые выделяются в данном пункте, осуществляется регенерация сигнала. В транзитных ОК OADM, которые не выделяются в данном пункте, осуществляется компенсация затухания участка оптическими усилителями. Шумовые характеристики такого транзитного ОК отличаются от шумовых характеристик выделяемого ОК за счёт использования оптических усилителей и появления соответственно усилительных участков (пролётов) внутри регенерационной секции.

Ожидаемые параметры ВОСП-WDM зависят от конфигурации сети, типа оптических волокон ОВ и выбранных режимов работы. Такими параметрами, важными для проектирования, является: допустимое количество оптических каналов $N_{ок}$ и допустимое количество усилительных участков (пролётов) n на регенеративных секциях транзитных каналов ВОСП-WDM.

В [5] рассматриваются вопросы, связанные с определением $N_{ок}$, однако оценка допустимого значения n и влияние n на величину $N_{ок}$ отсутствуют.

Допустимые количества $N_{ок}$ и n определяются как дисперсионными искажениями, вносимыми ОВ, так и шумами.

Целью статьи является определение оптимальных условий, при которых достигается максимальное значение оптических каналов $N_{ок}$ и участков n переоборудуемой ВОСП-WDM для ОВ типа SF и DSF с учётом шумовых характеристик цепи.

Ранее [5] было составлено уравнение защищённостей (1) одного ОК многоканальной ВОСП-WDM:

$$10^{-0,1A_1} + 10^{-0,1A_2} = 10^{-0,1(A_{доп-о} + NM)}, \quad (1)$$

где A_1 – защищённость от нелинейных помех; A_2 – защищённость от всех других аддитивных помех усилительной секции; $A_{доп-о} = 13$ дБ – допустимая оптическая защищённость; $NM = 3$ дБ – запас по защищённости.

В [5] приведены вывод защищённостей A_1 и A_2 при переоборудовании ВОСП-SDH на ВОСП-WDM и исследованы влияния уровня передачи WDM для одного участка ВОСП.

С учётом влияния эффекта накопления помех при увеличении количества усилительных участков n внутри мультиплексной секции, эти защищённости запишутся следующим образом:

$$A_1 = A_{10} - 2p_w - 20\lg N_{\text{OK}} - A_F \lg(n), \quad (2)$$

$$A_2 = A_{\text{доп-о}} + MM + \Delta A_{\text{уч}} + (p_w - p_s) - 10\lg N_{\text{OK}} + \Delta p_{\text{ч}} - 10\lg(n). \quad (3)$$

Здесь p_w – уровень передачи многоканального сигнала WDM; p_s – уровень передачи сигнала переоборудуемой одноканальной ВОСП-SDH; N_{OK} – количество оптических каналов (ОК) ВОСП-WDM; $\Delta A_{\text{уч}}$ – запас по затуханию одного участка, который определяется разностью номинального затухания участка исходной, переоборудуемой ВОСП-SDH, и фактического затухания этого участка при переходе к ВОСП-СПК, использующей 3-е окно прозрачности.

$$A_{\text{уч}} = (\alpha_s l_{\text{н-с}} - \alpha_w l_{\text{ф-с}}), \quad (4)$$

где α_s и α_w – коэффициенты затухания ОВ для ВОСП-SDH и ВОСП-СПК соответственно;

$l_{\text{н-с}}$ и $l_{\text{ф-с}}$ – номинальная и фактическая длины участков ВОСП-SDH; $\Delta p_{\text{ч}}$ – увеличение защищённости A_2 за счёт изменения чувствительности приёмника усилительного участка WDM $p_{\text{ч-в}}$, по сравнению с чувствительностью приёмника регенеративной секции SDH - $p_{\text{ч-с}}$ на величину $\Delta p_{\text{ч}} = p_{\text{ч-с}} - p_{\text{ч-в}}$.

A_{10} – защищённость от нелинейных помех A_1 при $N_{\text{OK}}=1$ и $p_w=0$ дБ. Величина A_{10} определяется видом нелинейных помех (1 или 2-го рода), существенно зависит от величины дисперсионных искажений и поэтому определяется типом оптического волокна (ОВ):

$$A_{10} = \begin{cases} 73,8 \text{ дБ} - \text{ для ОВ типа SF,} \\ 57,8 \text{ дБ} - \text{ для ОВ типа DSF.} \end{cases} \quad (5)$$

A_F – параметр, характеризующий эффект накопления нелинейных помех соответственно 1 или 2-го рода с увеличением количества усилительных участков n внутри регенеративной или мультиплексной секции.

$$A_F = \begin{cases} 10 - \text{ для ОВ типа SF,} \\ 20 - \text{ для ОВ типа DSF.} \end{cases} \quad (6)$$

Для того чтобы в явном виде получить зависимость величины допустимого количества оптических каналов N_{OK} от параметров цепи, выделим в (2) и (3) слагаемые, зависящие от N_{OK} . Тогда

$$A_1 = \Delta A_{1N} - 20\lg N_{\text{OK}}; \quad A_2 = \Delta A_{2N} - 10\lg N_{\text{OK}}. \quad (7)$$

Подстановка (7) в (1) даёт уравнение

$$a_N \times N_{\text{OK}}^2 + b_N N_{\text{OK}} = c, \quad (8)$$

где

$$\left. \begin{aligned} a_N &= 10^{-0,1\Delta A_{1N}}; \quad b_N = 10^{-0,1\Delta A_{2N}}; \quad c = 0,025; \\ \Delta A_{1N} &= A_{10} - 2p_w - A_F \lg(n); \\ \Delta A_{2N} &= 16 + \Delta A_{\text{уч}} + (p_w - p_s) + \Delta p_{\text{ч}} - 10\lg(n). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$N_{\text{OK}} = \frac{(b_N^2 + 0,1a_N)^{0,5} - b_N}{2 \times a_N}. \quad (10)$$

Для того чтобы в явном виде получить зависимость величины допустимого количества усилительных участков n , выделим в (2) и (3) слагаемые, зависящие от n . Тогда

$$A_1 = \Delta A_{1n} - A_F \lg(n); \quad A_2 = \Delta A_{2n} - 10 \lg(n). \quad (11)$$

Для **ОВ** типа **SF**

$$A_1 = \Delta A_{1n_s} - 10 \lg(n_s). \quad (12)$$

В этом случае равенство (1), выраженное относительно допустимого количества усилительных участков n_s запишется так:

$$a_{n_s} n_s + b_n n_s = c, \quad (13)$$

где

$$\left. \begin{aligned} a_{n_s} &= 10^{-0,1\Delta A_{1n_s}}; \quad b_n = 10^{-0,1\Delta A_{2n}}; \quad c = 0,025; \\ \Delta A_{1n_s} &= 73,8 - 20 \text{Log} N_{\text{ок}} - 2 p_w; \\ \Delta A_{2n} &= 16 + \Delta A_{\text{уч}} + p_w - 10 \lg N_{\text{ок}} + \Delta p_{\text{ч}}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$n_s = 0,025 / (10^{-0,1\Delta A_{1n_s}} + 10^{-0,1\Delta A_{2n}}). \quad (15)$$

Для **ОВ** типа **DSF**

$$A_1 = \Delta A_{1n_d} - 20 \lg(n_d). \quad (16)$$

Поэтому для **ОВ** типа **DSF** равенство (1), выраженное относительно допустимого количества усилительных участков n_d , запишется так:

$$a_{n_d} n_d^2 + b_n n_d = c, \quad (17)$$

где

$$a_{n_d} = 10^{-0,1\Delta A_{1n_d}} = 10^{-0,1(57,8 - 2 p_w - 20 \lg N_{\text{ок}})}. \quad (18)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$n_d = \frac{(b_n^2 + 0,1 a_{n_d})^{0,5} - b_n}{2 \times a_{n_d}}. \quad (19)$$

Полученные выражения (9), (10) позволяют непосредственно вычислить допустимое количество оптических каналов $N_{\text{ок}}$ и тем самым:

1. Сравнить влияние **ОВ** типа **SF** и **DSF** на величину $N_{\text{ок}}$ при разных запасах по затуханию (рис 1).

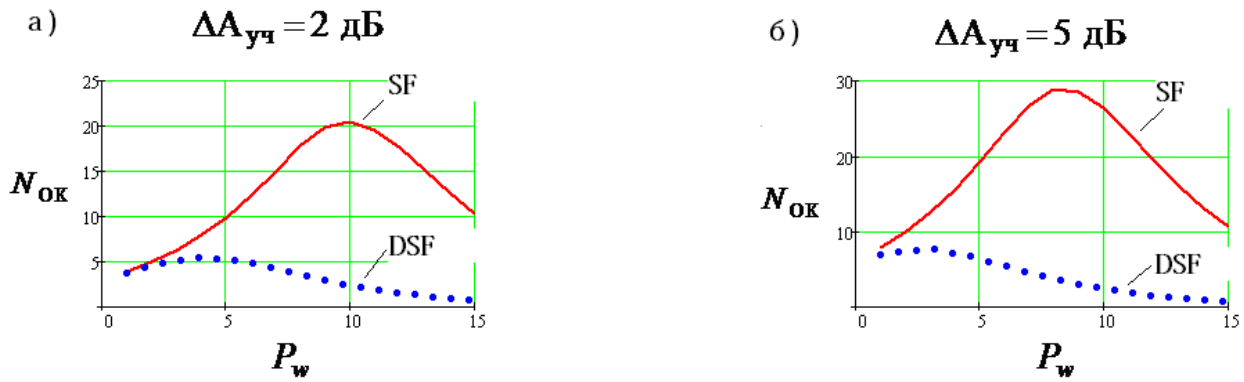


Рисунок 1 – Зависимость $N_{\text{ок}}(P_w)$, для **ОВ** типа **SF** и **DSF**:

а) при запасе по затуханию 2 дБ; $\Delta p_{\text{ч}} = 10$ дБ, $n = 5$;

б) при запасе по затуханию 5 дБ; $\Delta p_{\text{ч}} = 10$ дБ, $n = 5$

2. Оценить эффект увеличения уровня передачи p_w , количества усилительных участков n внутри регенерационной секции и чувствительности $\Delta p_{\text{ч}}$ на допустимое количество оптических каналов $N_{\text{ок}}$ (рис 2, 3) при использовании **ОВ** типа **SF** и **DSF** соответственно.

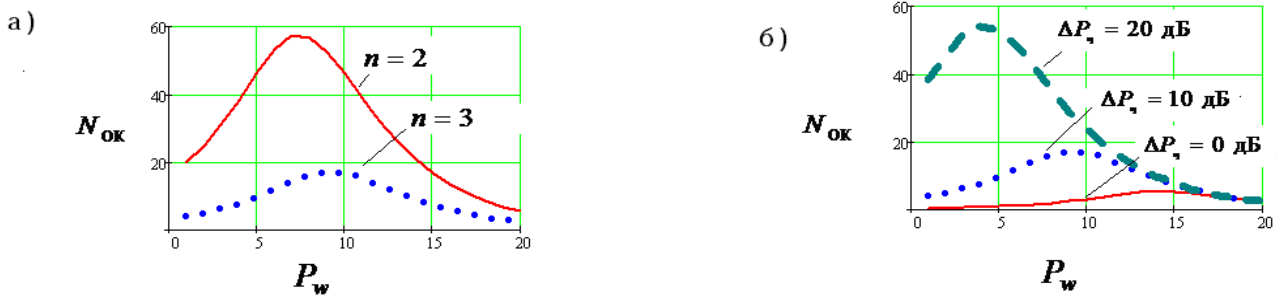


Рисунок 2 – Зависимость $N_{\text{ок}}(P_w)$ для **ОВ** типа **SF**:

а) при числе участков на регенеративной секции $n = 2$ и $n = 10$;

б) при изменении чувствительности $\Delta p_{\text{ч}} = 0, 10$ и 20 дБ

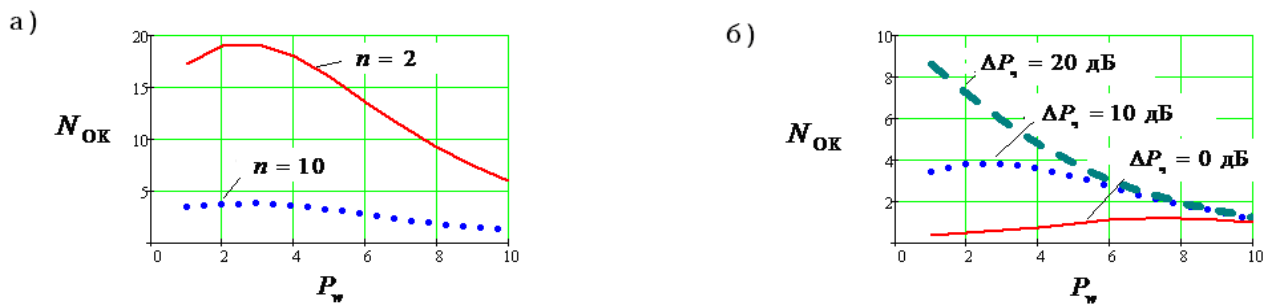


Рисунок 3 – Зависимость $N_{\text{ок}}(P_w)$ для **ОВ** типа **DSF**:

а) при числе участков на регенеративной секции $n = 2$ и $n = 10$;

б) при изменении чувствительности $\Delta p_{\text{ч}} = 0, 10$ и 20 дБ

Полученные выражения (14), (15), а также (18), (19) позволяют непосредственно вычислить допустимое количество усилительных участков n на регенерационной секции и тем самым упростить оценку влияния характеристик цепи на этот важный параметр.

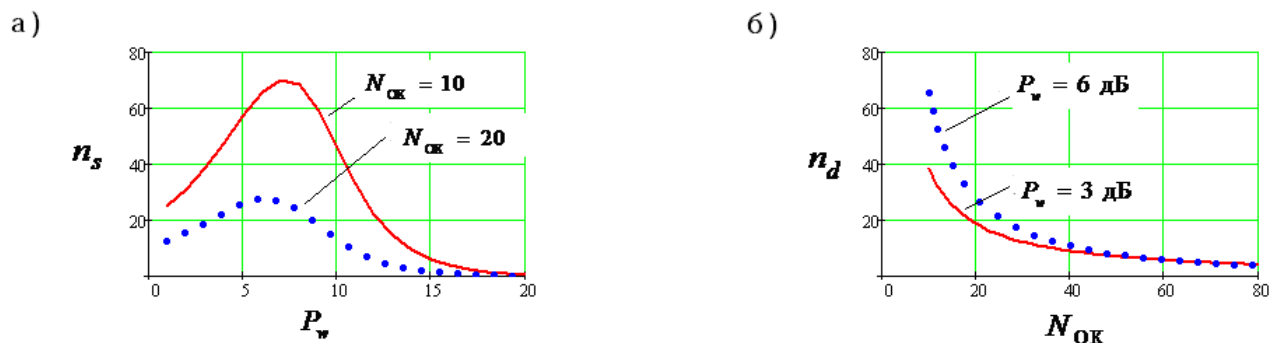


Рисунок 4 – Зависимость количества усилительных участков $n_s(p_w)$ для ОБ типа SF:

- а) при числе оптических каналов $N_{\text{ок}} = 2$ и $N_{\text{ок}} = 10$;
- б) при уровне передачи WDM $p_w = 10$ дБ и $p_w = 20$ дБ

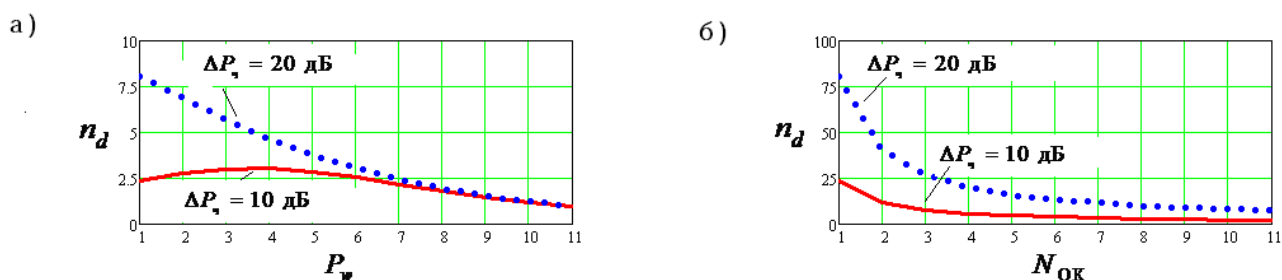


Рисунок 5 – Зависимость количества усилительных участков n_d ,

для ОБ типа DSF при запасе по затуханию $\Delta A_{\text{уч}} = 3$ дБ

и изменении чувствительности $\Delta p_q = 10$ дБ и $\Delta p_q = 20$ дБ:

- а) при числе оптических каналов $N_{\text{ок}} = 10$;
- б) при уровне передачи WDM $p_w = 1$ дБ

Проведенные расчёты показывают, что

1. Влияние нелинейных шумов при использовании оптических волокон типа DSF (рис.1) приблизительно в четыре раза уменьшает допустимое количество оптических каналов $N_{\text{ок}}$ по сравнению с ОБ типа SF (при оптимизации уровня передачи и прочих равных условиях).

2. Увеличение запаса по затуханию на 30 % (рис.1) увеличивает допустимое количество оптических каналов $N_{\text{ок}}$ тоже на 30 %.

3. Увеличение количества пролётов n (рис .2,а и 3,а, а также рис.4,а и 5,а) незначительно изменяет величину оптимального значения уровня передачи p_w , но очень влияет на допустимую величину оптических каналов $N_{\text{ок}}$

4. Увеличение чувствительности Δp_q (рис. 2,б и 3,б) при переходе от SDH к WDM, за счёт использования оптических мультиплексоров ввода/вывода OADM, в которых для компенсации затухания, вносимое оптическими разветвителями, устанавливают предварительные оптические усилители (ПОУ), позволяет увеличить допустимое количество ОК ($N_{\text{ок}}$). Чувствительность ПРОМ ВОСП зависит от типа используемого фотодиода (ФД) [6]. Чувствительность ПОУ больше

чувствительности лавинного фотодиода почти на 20 дБ. Из приведенных графиков видно, что переход от $\Delta p_{\text{ч}} = 0$ к $\Delta p_{\text{ч}} = 20$ увеличивает $N_{\text{ок}}$ почти на порядок.

В процессе проектирования переоборудования ВОСП-SDH на ВОСП-WDM необходимо, пользуясь мультиплексным планом, определить требуемое количество оптических каналов $N_{\text{ок-Т}}$ и требуемое количество пролётов $n_{\text{Т}}$ для худшего ОК, в котором количество пролётов n максимально ($n_{\text{МАХ}}$).

Далее, пользуясь (10) определяем допустимое значение $N_{\text{ок-Д}}$, по зависимости $N_{\text{ок}}(P_w)$ как $\max N_{\text{ок}}(P_w)$, используя, в качестве параметра требуемое $n_{\text{Т}} = n_{\text{МАХ}}$.

Если полученное значение $N_{\text{ок-Д}} < N_{\text{ок-Т}}$, то пользуясь (15) или (19), в зависимости от типа используемого ОВ, определяем допустимое количество пролётов $n_{\text{Д}}$, соответствующее $N_{\text{ок-Т}}$ для оптимального значения P_w , при котором выполняется $\max N_{\text{ок}}(P_w)$.

Обеспечить $n_{\text{Д}}$, если $n_{\text{Д}} < n_{\text{Т}}$ можно используя индивидуальные для данного ОК транспондеры.

Необходимо помнить, что уменьшать $n_{\text{Д}}$ по сравнению с $n_{\text{Т}} = n_{\text{МАХ}}$ может быть понадобится в связи с увеличением дисперсионных искажений секции, в которой дисперсионные искажения отдельных усилительных участков суммируются.

Из проведенных расчётов видно, что:

1. Получить большое количество оптических каналов при переоборудовании ВОСП-SDH на ВОСП-WDM невозможно, если используется оптический кабель с волокнами типа **DSF**, в связи с большим уровнем нелинейных помех.

2. Оптимизация проектного решения требует определения такого значения уровня передачи группового сигнала P_w , при котором достигается $\max N_{\text{ок}}(P_w)$. Определить это оптимальное значение уровня передачи можно используя (10).

3. Допустимое количество усилительных участков (пролётов) на регенерационной секции легко определяется в (15) или (19).

Проведенное исследование позволяет сделать **выводы**, что при проведении проектных работ по переоборудованию ВОСП-SDH на ВОСП-WDM необходимо знать не только требуемые, но и допустимые (реализуемые) значения оптических каналов, пролётов, а также, что существенно улучшить эти параметры можно, оптимизируя величину уровня передачи группового многоканального сигнала WDM.

Литература

1. Бирюков Н.Л. Транспортные сети и сети электросвязи. Системы мультиплексирования: учебник [для вузов по специальности «Телекоммуникации»] / Н.Л. Бирюков, В.К. Степков К., 2003, – 352 с., ил.
2. Однорог П. М., WDM / Однорог П. М., Михайленко. Е. В., Омецінська О. Б.; за ред. В. Б. Каток. – [3-те вид]. – К., 2005. – 194 с.
3. Макаров Т. В. Когерентные волоконно-оптические системы передачи / Макаров Т. В. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2009. – 218 с.
4. Сети следующего поколения NGN/ [Росляков А.В., Ваняшин М.Ю., Сасонов М.Ю. и др.]; под ред. А. В. Рослякова. – М.: Эко-Тренз, 2008. – 424 с.
5. Брескин В.А. Ресурсы переоборудования на WDM / Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009. – № 2. – С. 62–67.
6. Брескин В.А. Расчёт чувствительности цифровых приёмных устройств ВОСП / В.А. Брескин, В.И. Корнейчук // VI Міжнар наук.–практ. конф. "Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій"; Тези доп. Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – С. 94–96.