

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА НА ДЛИНУ РЕГЕНЕРАЦИОННОЙ СЕКЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ**INFLUENCE OF DISPERSING SIGNAL ALTERATIONS ON LENGTH OF RECLAIMING SECTION OF FIBER-OPTICAL SYSTEMS OF TRANSMISSION**

Аннотация. Анализируется влияние величины дисперсионных искажений волоконно – оптического кабеля на шумовые характеристики волоконно-оптических систем передачи, которое учитывается при расчёте длины регенерационной секции.

Summary. It is analyzed influence of the value of dispersing distortions fiber – an optical cable on noise characteristics fiber – optical systems of transmission which is considered at calculation of length re-generation sections.

Проблема повышения эффективности функционирования транспортных участков телекоммуникационной сети решается сегодня многими операторами за счёт использования волоконно-оптических линий передачи, причём упор делается на технологию многоканальных ВОСП – WDM [1].

Для «старых» операторов, таких как Укртелеком, имеющих уже сложившуюся, разветвленную сеть, внедрение WDM логично осуществлять путём замены существующих одноканальных ВОСП – SDH, работающих на волоконно-оптическом кабеле (ВОК) типа SF (рекомендация G.652), путем перехода со 2-го в 3-е окно прозрачности оптического волокна (ОВ). При этом затрудняется задача высокоскоростной передачи цифровых сигналов по оптическим каналам вводимой ВОСП – WDM, так как в этом (3-м) окне прозрачности увеличивается значение дисперсии σ и при изменении уровня сигнала появляются нелинейные искажения.

Нелинейные искажения ограничивают допустимое количество оптических каналов, дисперсия σ ограничивает скорость передачи цифровых потоков по этим оптическим каналам, а их совместное действие – длину участка регенерации l_p , которая является важнейшей характеристикой цифровых систем передачи.

В [2, 3] и других многочисленных работах рассматриваются причины возникновения дисперсии оптического сигнала и влияние этой дисперсии на расширение длительности принимаемого импульсного сигнала, но не приводятся численные оценки этого расширения на помехоустойчивость.

Влияние дисперсионных искажений в ВОСП, аналогично влиянию неравномерности частотных характеристик тракта передачи на импульсный сигнал ЦСП. При определении длины участка регенерации l_p ЦСП металлического кабеля [4] линейные искажения сигнала не учитываются, так как в регенераторах этих ЦСП они компенсируются соответствующими корректирующими устройствами.

Коррекция дисперсионных искажений, вносимых ОВ волоконно-оптического кабеля, аппаратными средствами (т.е. устройствами схем усилителей и корректоров) в настоящее время практически не используется и поэтому при расчёте длины l_p ВОСП влияние этих искажений должно быть учтено.

В цифровых ВОСП расчет регенерационной секции l_p осуществляется по двум независимым критериям:

– шумовым характеристикам с учётом потерь сигнала в ОВ (соответствующую длину участка регенерации будем обозначать $-l_{p,\alpha}$);

– дисперсионным искажениям принимаемого сигнала (соответствующая длина участка регенерации $-l_{p,\sigma}$).

В результате выбирается худший (меньший по длине) вариант расчёта.

Однако не рассматривается возможность увеличения $l_{p,\sigma}$ за счет увеличения, в допустимых пределах, межсимвольных искажений вызванных дисперсией.

Целью статьи является анализ влияния величины дисперсионных искажений волоконно-оптического кабеля на шумовые характеристики волоконно-оптических систем передачи, позволяющий определить возможность и условия увеличения расчётной длины участка регенерации по дисперсии $l_{p,\sigma}$.

Известно [4], что длина участка регенерации цифровой системы передачи определяется по шумовым характеристикам тракта из уравнения защищённости ожидаемой $A_{зож}(l)$ и допустимой $A_{здоп}(l)$. Ожидаемая защищённость определяется потерями сигнала и зависит поэтому от длины l , а допустимая защищённость определяется допустимой вероятностью ошибки. Решение этого уравнения применительно к регенерационной секции ВОСП даёт следующее выражение длины этой секции [3, 5]:

$$l_{pa} = \frac{\text{ЭП} - 2A_{pc} - A_{БЗ}}{\alpha + \frac{A_{nc}}{l_{стр}}}, \quad (1)$$

где α – коэффициент затухания кабеля; $l_{стр}$ – строительная длина кабеля; A_{pc} и A_{nc} – соответственно затухания вносимые разъёмным и неразъёмными соединениями; $A_{БЗ}$ – бюджет защищённости.

При обычных расчётах по потерям $A_{БЗ} = A_{ЭЗ}$, где $A_{ЭЗ}$ – эксплуатационный запас на изменения затуханий вносимых средой (оптическим волокном – ОВ), передающим (ПОМ) и приёмным (ПРОМ) модулями ($A_{ЭЗ} \approx 5 - 6$ дБ); ЭП – энергетический потенциал, который определяется разностью оптических уровней передачи и чувствительности ПРОМ.

Длительность импульсов принимаемого сигнала с увеличением длины секции l_p увеличивается. Расширение длительности принимаемых импульсов за счёт дисперсии света принято оценивать временной дисперсией σ , которую определяют как [3, 5, 6]:

$$\sigma = \sqrt{T_{вых}^2 - T_{вх}^2}, \quad (2)$$

где $T_{вх}$ – длительность входного импульса; $T_{вых}$ – длительность принимаемого (выходного) импульса.

Чтобы не допустить МСИ длину секции $l_{p\sigma}$ рекомендуют выбирать таким образом, чтобы относительная величина дисперсии $z = \frac{\sigma}{T_T} = 0,25$ [3].

В этом случае длина регенерационной секции связанная с относительной величиной дисперсии [5]

$$l_{p\sigma} = \frac{0,25}{\sigma_{01} \cdot \Delta_\lambda \cdot B}, \quad (3)$$

где σ_{01} – удельная дисперсия волокна пс/нм · км – определяется типом используемого ОВ и длиной волны излучения λ ; B – линейная скорость передачи бит/с; Δ_λ – ширина линии излучения нм.

Увеличение параметра z приводит к увеличению МСИ, ухудшению помехоустойчивости (увеличению допустимой защищённости), а значит и к уменьшению длины $l_{p\sigma}$, что не допустимо, если $l_{p\sigma} > l_{pa}$.

Однако, при переоборудовании линий передачи с ВОСП – SDH на ВОСП – WDM и при переходе, соответственно, из второго в третье окно прозрачности кабеля SF, учитывая увеличенное значение σ_{01} в третьем окне прозрачности (19 пс/нм · км по сравнению с 3,5 пс/нм · км) и ширину линии излучения $\Delta_\lambda \approx 5$ нм лазерных диодов, обычно используемых в ПОМ ВОСП – SDH и WDM, имеем

$$l_{p\sigma} < l_{pa}.$$

В этом случае бюджет по защищённости $\Delta A_{БЗ}$ увеличивается на ΔA_l , за счёт меньшей длины регенерационной секции и нового значения коэффициента затухания α_3 .

$$\Delta A_l(z) = \alpha_2 \cdot l_{pa} - \alpha_3 \cdot l_{p\sigma}(z), \quad (4)$$

где α_2 и α_3 – коэффициенты затуханий оптического волокна ОВ соответственно во 2-м и 3-м окнах прозрачности; $l_{p\sigma}(z)$ определяется выражением:

$$l_{p\sigma} = \frac{z}{\sigma_{01} \cdot \Delta_\lambda \cdot B}.$$

Наличие запаса по защищённости позволяет увеличить длину регенерационной секции l_p по сравнению с $l_{p\sigma}$ увеличением относительной величины дисперсии $z = \frac{\sigma}{T_T}$, однако при этом надо учитывать также увеличение допустимой защищённости $\Delta A_\sigma(z)$.

Увеличение z увеличивает $\Delta A_{\sigma}(z)$ и уменьшает $\Delta A_l(z)$. Предельное, максимально-допустимое значение $z = z_m$ можно определить из уравнения

$$A_{БЗ}(z) = A_{ЭЗ} + \Delta A_l(z) - \Delta A_{\sigma}(z) = A_{ЭЗ},$$

т.е.

$$A_z(z) = \Delta A_l(z) - \Delta A_{\sigma}(z) = 0, \quad (5)$$

при этом фактическое значение относительной дисперсии находится в пределах

$$0,25 \leq z \leq z_m. \quad (6)$$

Определим ухудшение допустимой защищенности $\Delta A_{\sigma}(z)$ по раскрытию глаз-диаграммы:

$$\Delta A_{\sigma} = 20 \lg \left(\frac{D}{d} \right), \quad (7)$$

где D – номинальный диаметр глаз-диаграммы; d – внутренний диаметр глаз-диаграммы, который определяется величиной МСИ.

Величина МСИ определяется значением отсчетов $g_1 = g(t = T_T)$, $g_2 = g(t = 2T_T)$ и т.д. импульсного отклика $g(t)$, а также критерием оценки МСИ.

Импульсная характеристика длинных световодных линий связи с хорошим приближением описывается импульсом гауссовской формы [2, 3].

Эта колокообразная форма импульса в относительных величинах определяется выражением (8) [2]:

$$g\left(\frac{t}{T_T}\right) = D \cdot \exp\left[-a^2 \left(\frac{t}{T_T}\right)^2\right]. \quad (8)$$

Здесь параметр « a » определяет скорость уменьшения $g(t)$. Определим его, полагая заданным отношение

$$\mu = \frac{g_1}{g_0}. \quad (9)$$

Учитывая, что

$$\begin{aligned} g_1 &= g(t = T_T), \\ g_0 &= g(t = 0) \end{aligned}$$

выражение (10) имеет вид

$$g\left(\frac{t}{T_T}\right) = D \cdot \exp[-a^2],$$

поэтому

$$\mu = \frac{g_1}{g_0} = \frac{D \cdot \exp[-a^2]}{D} = \exp[-a^2] = \frac{1}{e^{a^2}},$$

значит

$$a^2 = \ln \frac{1}{\mu}. \quad (10)$$

Для определения величины d существуют два метода оценки:

- среднеквадратичная оценка размытости глаз-диаграммы (Е-критерий);
- D-критерий, когда размытость глаз-диаграммы определяют как сумму модулей всех отсчетов отклика $g(t)$.

Когда учитываемых отсчетов $g(t)$ много, то результат их наложения нормализуется, и использование Е-критерия является оправданным.

Для гауссовой формы отклика, при малых допустимых значениях μ , отсчетами $g_2 = g(t = 2T_T)$, $g_3 = g(t = 3T_T)$ и т.д. можно пренебречь в виду их малости. В этом случае оправданным является использование D-критерия, который является оценкой «по худшему случаю».

Для двоичного однополярного сигнала в ВОСП:

$$d = D - 2|g_1|. \quad (11)$$

Учитывая (7), (9), (10), а также что $D = g_0$, можно записать

$$\Delta A_\sigma = 20 \lg \left(\frac{1}{1 - 2e^{-a^2}} \right), \quad (12)$$

где

$$a = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\tau}, \quad (13)$$

где $\tau = \frac{T_{и}}{T_T}$ – относительная длительность импульса; $T_{и}$ – длительность импульса, измеренная на уровне 0,5 от максимума ($0,5 D$); T_T – длительность тактового интервала.

Определим зависимость ΔA_α от относительной величины дисперсии z , используя (2), полагая $T_{и} = T_{вых}$ и учитывая, что для линейного кода NRZ длительность входного импульса $T_{вх} = T_T$.

В этом случае

$$z = \frac{\sigma}{T_T} = \sqrt{\frac{T_{вых}^2}{T_T^2} - 1}. \quad (14)$$

Значит

$$\tau = \sqrt{z^2 + 1}. \quad (15)$$

Из (7) ... (15) следует, что

$$\Delta A_\sigma(z) = 20 \lg \left(\frac{1}{1 - 2e^{-\frac{4 \ln(2)}{1+z^2}}} \right). \quad (16)$$

График этой зависимости приведен на рис. 1, из которого видно, что увеличение относительной дисперсии z до 0,5, т.е. вдвое по сравнению с общепринятым значением $z = 0,25$ практически не изменяет величину ΔA_σ .

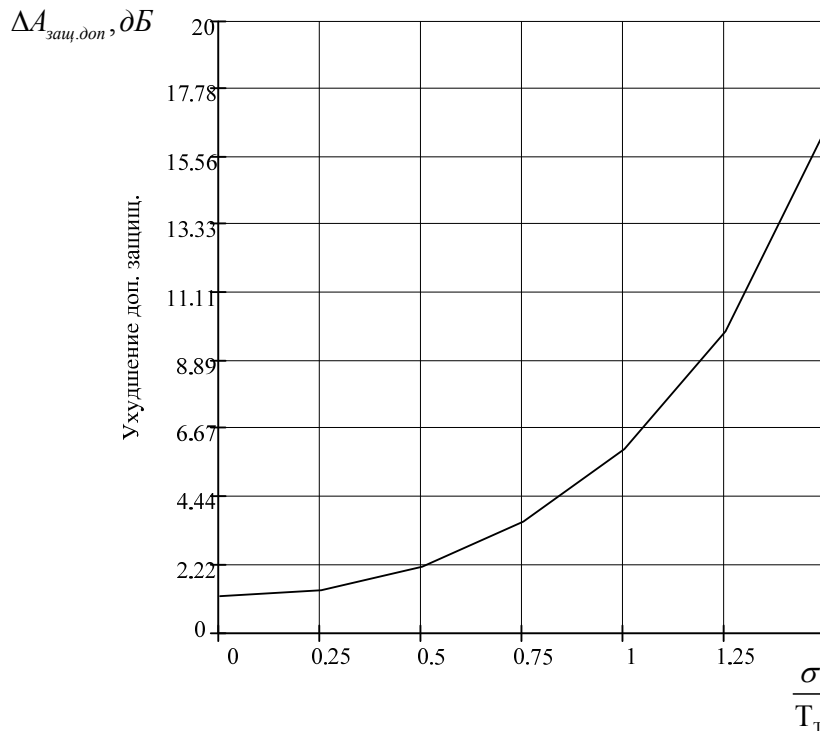


Рисунок 1 – Влияние относительной дисперсии $z = \frac{\sigma}{T_T}$ на ухудшение допустимой защищенности ΔA_σ дБ

Используя (4) и полученное выражение (16), уравнение (6) для определения z_m запишется следующим образом

$$A_z(z) = \left[\text{ЭП} - \alpha_3 \cdot \frac{z}{\sigma_{01} \cdot \Delta_\lambda \cdot B} \right] + 20 \lg \left(\frac{1}{1 - 2e^{-\frac{4 \ln(2)}{1+z^2}}} \right). \quad (17)$$

На рис. 2 приведены зависимости $A_z(z)$ для следующих исходных данных:

ЭП = 25-35 дБ; $\sigma_3 = 0,3$ дБ/км; $\Delta_\lambda = 4$ нм; $\sigma_{01} = 19$ пс/нм · км; $B = 155$ Мбит/с, что соответствует STM-1.

Видно, что для приведенных исходных данных при ЭП = 30 дБ, дБ максимально допустимая величина относительной дисперсии $z_m = 1$.

Практически увеличение $A_\sigma(z)$ на величину более чем 3...5 дБ нецелесообразно, так как при этом начинает увеличиваться влияние дестабилизирующих факторов на правильный прием сигнала.

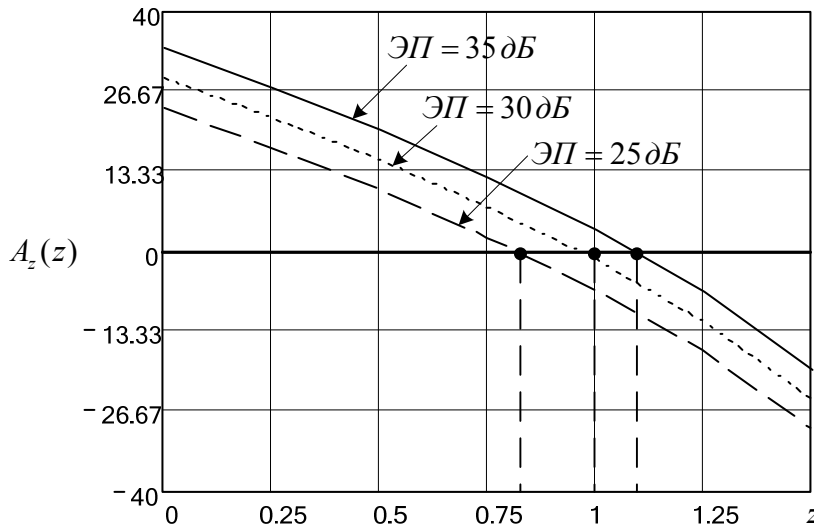


Рисунок 2 – Графическое определение предельных значений z

В заключении можно сказать следующее, что в случае, когда l_p ограничена дисперсионными искажениями, то ее можно увеличить в два, а иногда в три раза за счет увеличения допустимого расширения импульсов приемника.

Известно, что увеличить $l_{p\sigma}$ можно также используя ПОМ с меньшей шириной линии излучения Δ_λ , однако предлагаемый способ является более простым и дешёвым.

Литература

1. Підсумки роботи галузі зв'язку та інформатизації за січень-березень 2008 р. <http://www.stc.gov.ua/uk/publish/article/68241>
2. Гауэр Дж. Оптические системы связи; пер с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 504 с.
3. Корнейчук В.И., Макаров Т.В., Панфилов И.П., Проживальский О.П. Проектирование волоконно-оптических систем: Учеб. пособие. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2006. – 70 с.
4. Брескин В.А. Проектирование цифровых систем передачи: Учеб. пособие. – Одесса: ОЭИС им. А.С. Попова, 1987. – 30 с.
5. Захаров В.М., Кись О.Н. Проектирование волоконно-оптических линий передачи. – Ч.1. Линейный тракт: метод. пособие. – Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 1991. – 24 с.
6. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Syrus Systems, 1999. – 657 с.