

# Математическое моделирование экспериментального прототипа высокоскоростной линии связи на основе формата модуляции NRZ-DPSK

Алексей Редюк

Институт вычислительных технологий СО РАН  
<alexey.redyuk@gmail.com>

Всероссийская конференция по волоконной оптике, 2011

# Содержание

- 1 Математические модели
- 2 Зависимость BER от дисперсии
- 3 Оптимизация параметров ВОЛС
- 4 Заключение

## Определения

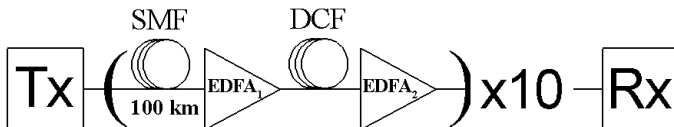
### Ошибочный бит

Бит называется **ошибочно принятым**, если его значение после детектора не совпадает с начальным значением

### Коэффициент ошибки

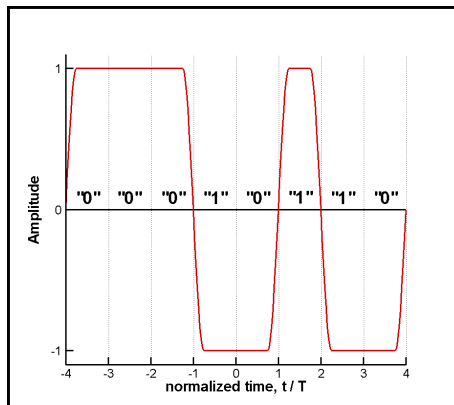
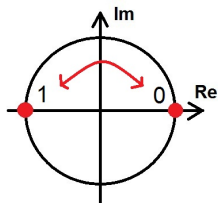
**Коэффициентом ошибки** ( $BER$ ) системы связи называется отношение ошибочно принятых битов к общему числу переданных битов:  $BER = N_{err} / N_{all}$

## Объект исследования

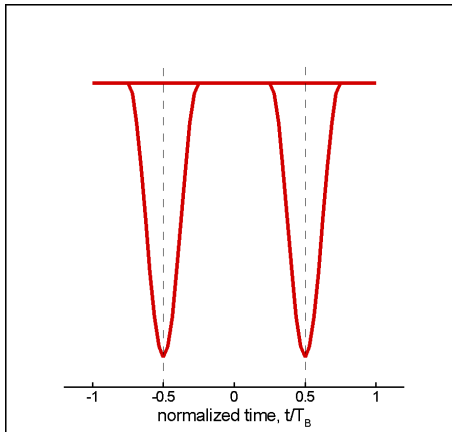
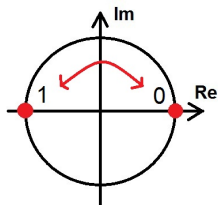


- протяженность линии 1000 км
- скорость передачи 40 Гбит/с
- формат модуляции NRZ-DPSK

# NRZ-DPSK



# NRZ-DPSK

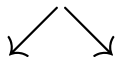


## Нелинейное уравнение Шрёдингера

$$i \frac{\partial A}{\partial z} + i\alpha A - \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \gamma |A|^2 A = 0$$



$$\frac{\partial A}{\partial z} = (\hat{D} + \hat{N})A$$



$$\hat{D} = -i \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \alpha$$

$$\hat{N} = i\gamma |A|^2$$

## Детектирование

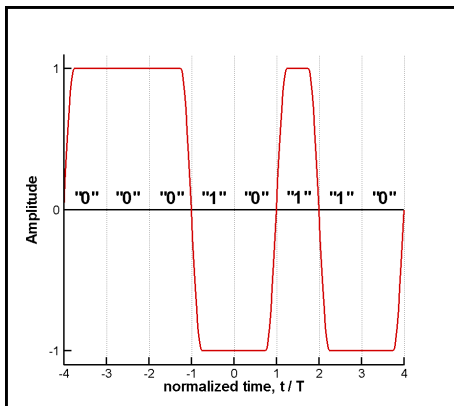
$$I_0 = \left| \frac{A_n + A_{n-1}}{2} \right|^2$$

$$I_1 = \left| \frac{A_n - A_{n-1}}{2} \right|^2$$

$$\Delta = I_0 - I_1$$

$$\Delta > 0 \implies \langle 0 \rangle$$

$$\Delta < 0 \implies \langle 1 \rangle$$





## Q-фактор

$$Q = \frac{|\mu_0 - \mu_1|}{\sigma_0 + \sigma_1}$$

$\mu_0$  — мат. ожидание  $\Delta$  для нулевых битов

$\mu_1$  — мат. ожидание  $\Delta$  для единичных битов

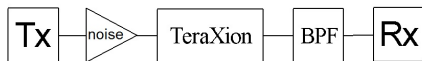
$\sigma_0$  — средн. кв. отклонение  $\Delta$  для нулевых битов

$\sigma_1$  — средн. кв. отклонение  $\Delta$  для единичных битов

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{Q}{\sqrt{2}} \right)$$

$\operatorname{erfc}(x)$  — дополнительная функция ошибок

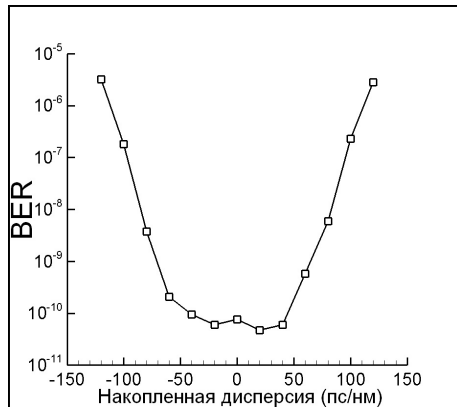
## Линия «back-to-back»



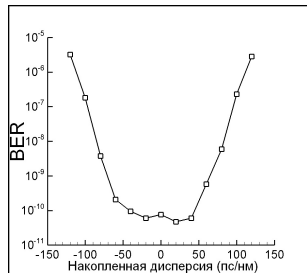
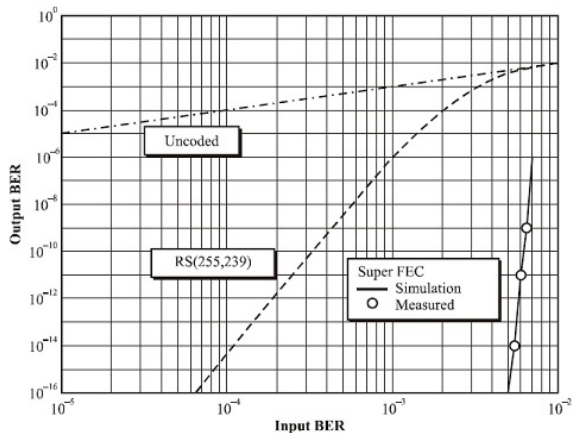
*noise* — источник шума

*TeraXion* — переменный компенсатор дисперсии

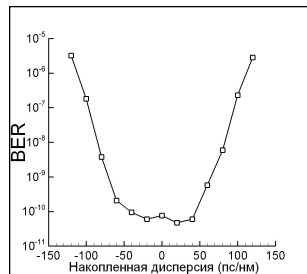
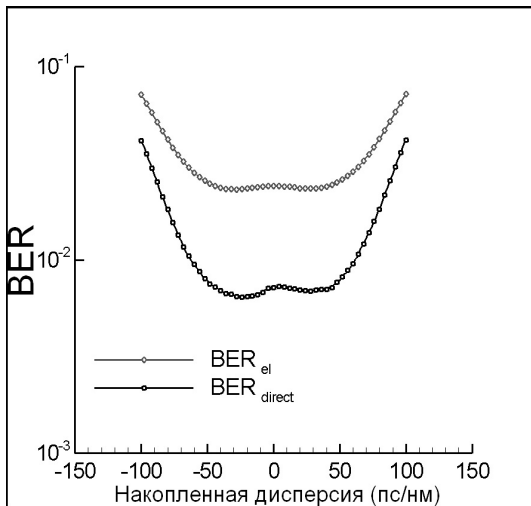
*BPF* — оптический фильтр



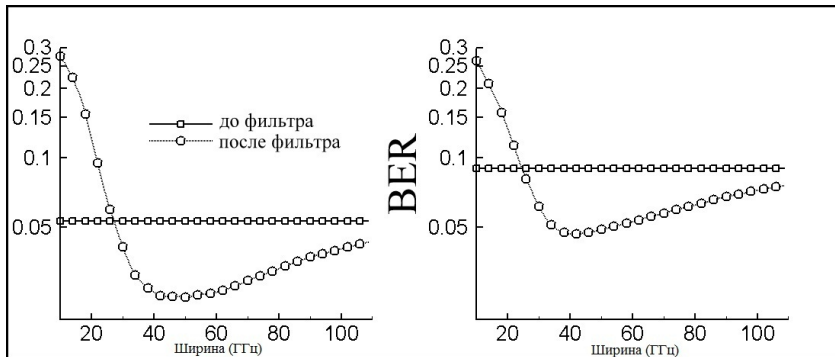
## Схема коррекции ошибок



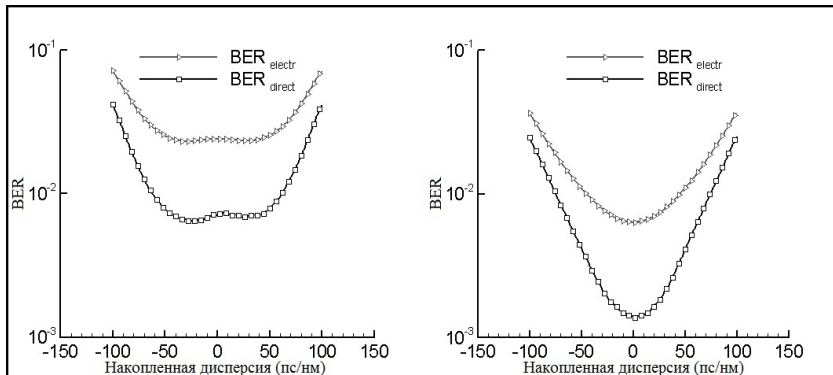
## Численные расчеты - I



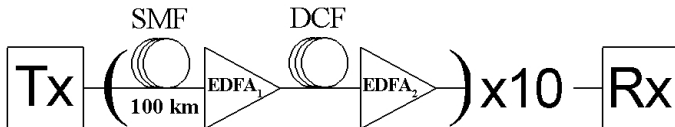
## Численные расчеты - II



## Численные расчеты - III



## Основная линия

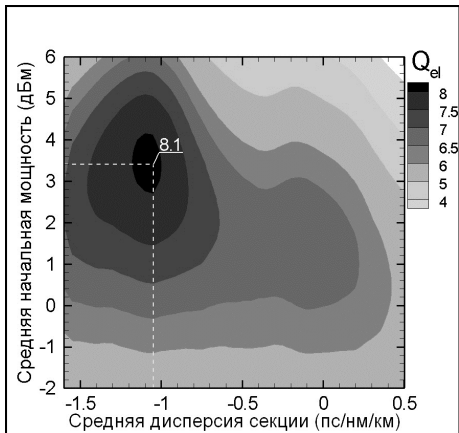


$P$  — средняя мощность сигнала

$D$  — накопленная дисперсия

$\langle D \rangle$  — средняя дисперсия секции

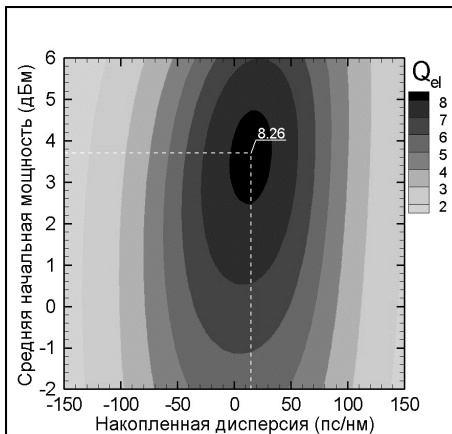
## Линии уровня Q-фактора



Линии уровня Q-фактора в плоскости параметров начальной средней мощности сигнала и средней дисперсии секции при  $D = 0$  пс/нм

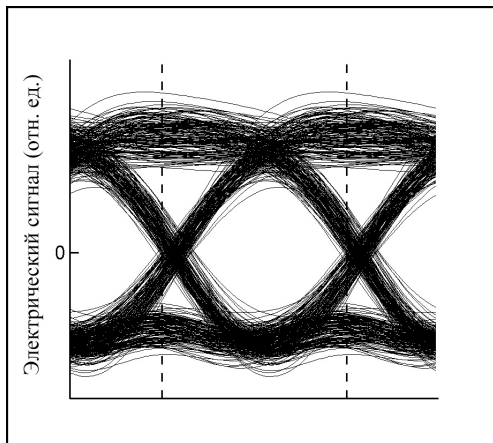


## Линии уровня Q-фактора



Линии уровня Q-фактора в плоскости параметров начальной средней мощности сигнала и накопленной дисперсии при  $\langle D \rangle = -1.1$  пс/нм/км

## Индикаторная диаграмма



Индикаторная диаграмм принятого электрического сигнала  
при  $P = 3$  дБм,  $\langle D \rangle = -1.1$  пс/нм/км,  $D = 0$  пс/нм

## Заключение

- выполнено математическое моделирование ВОЛС 40 Гбит/с 1000-км NRZ-DPSK
- определены оптимальные мощность излучения, средняя дисперсия секция и накопленная дисперсия
- экспериментально обнаружено, что зависимость *BER* от накопленной дисперсии имеет вид «полочки». Результаты численных расчетов подтверждают этот факт при ширине электрического фильтра больше 80 ГГц