

НАУЧНЫЙ СЕМИНАР ПО ТЕМЕ «КОРРЕКЦИЯ  
ОПТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ В ЛИТОГРАФИИ»



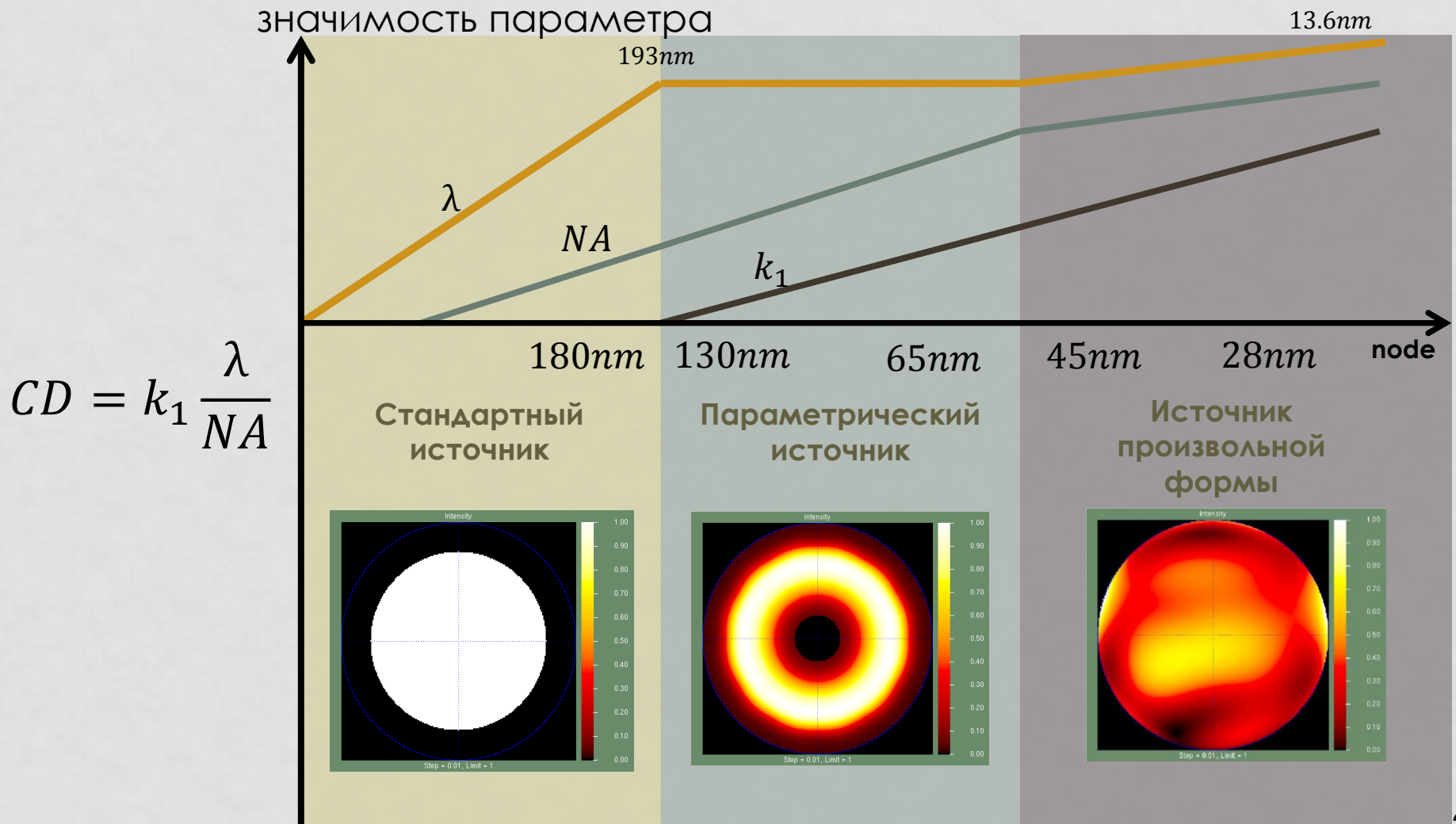
НИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ В ФОТОЛИТОГРАФИИ

Е.Л. Харченко  
АО «НИИМЭ»

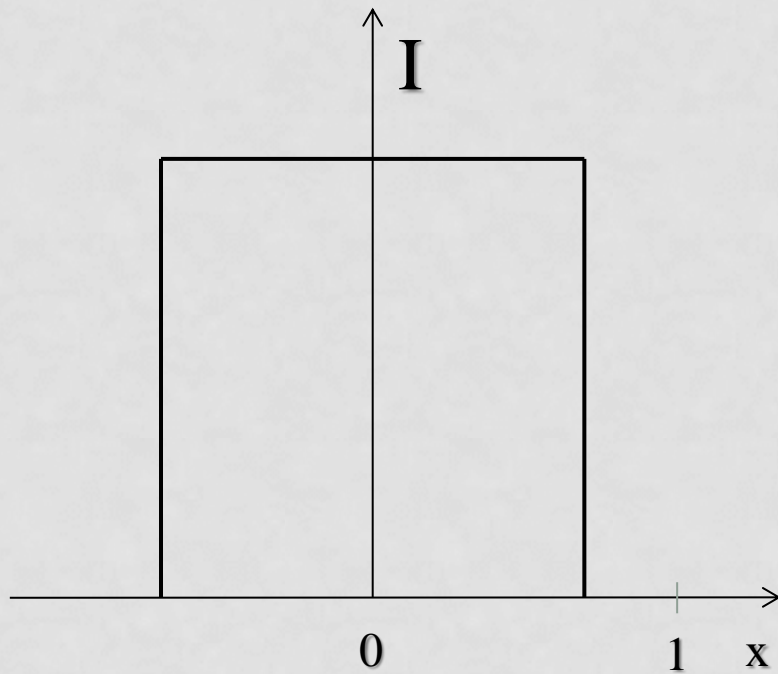
2019, Москва

# РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ В ФОТОЛИТОГРАФИИ

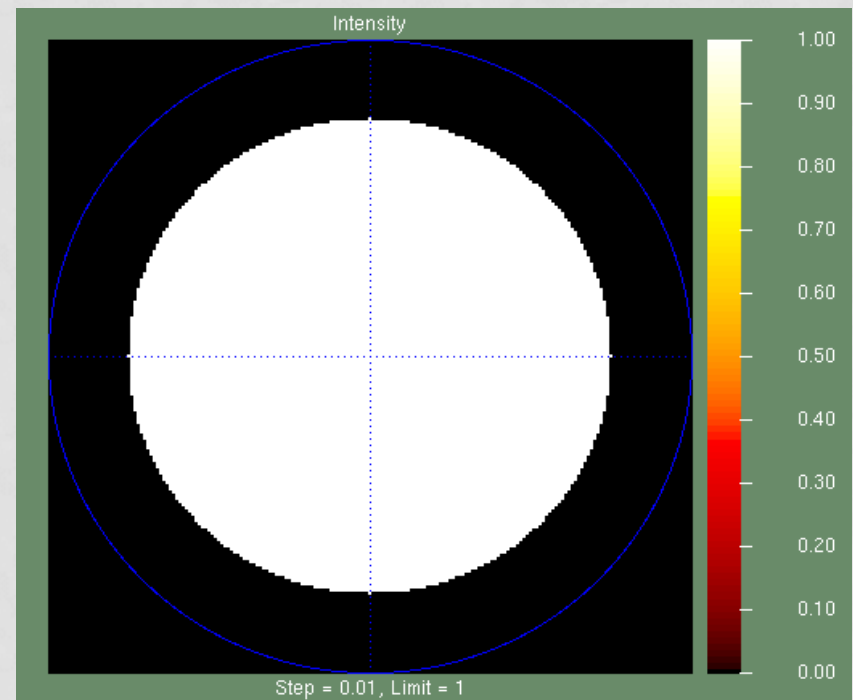


# СТАНДАРТНЫЙ ИСТОЧНИК

Способ описания Sharp

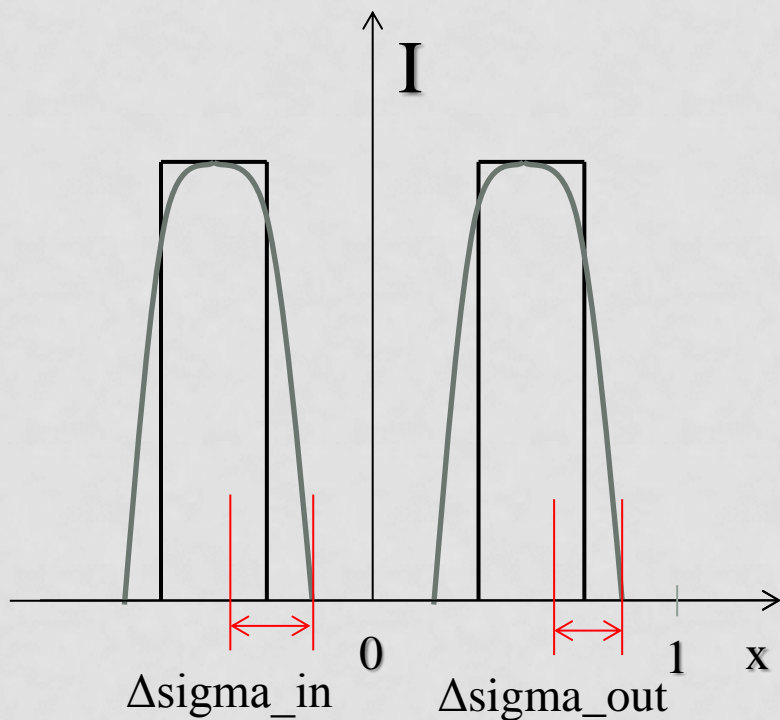


Параметры:  
 $I$ ,  $\sigma$



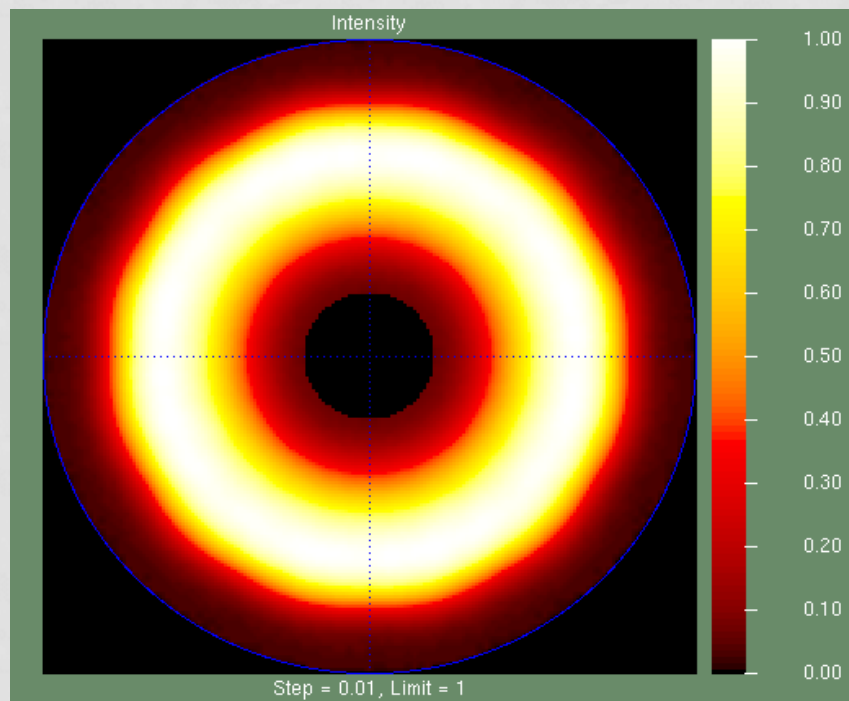
# ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК

Способ описания ERF



Параметры:

$I$ ,  $\sigma_{in}$ ,  $\sigma_{out}$ ,  
 $\Delta\sigma_{in}$ ,  $\Delta\sigma_{out}$

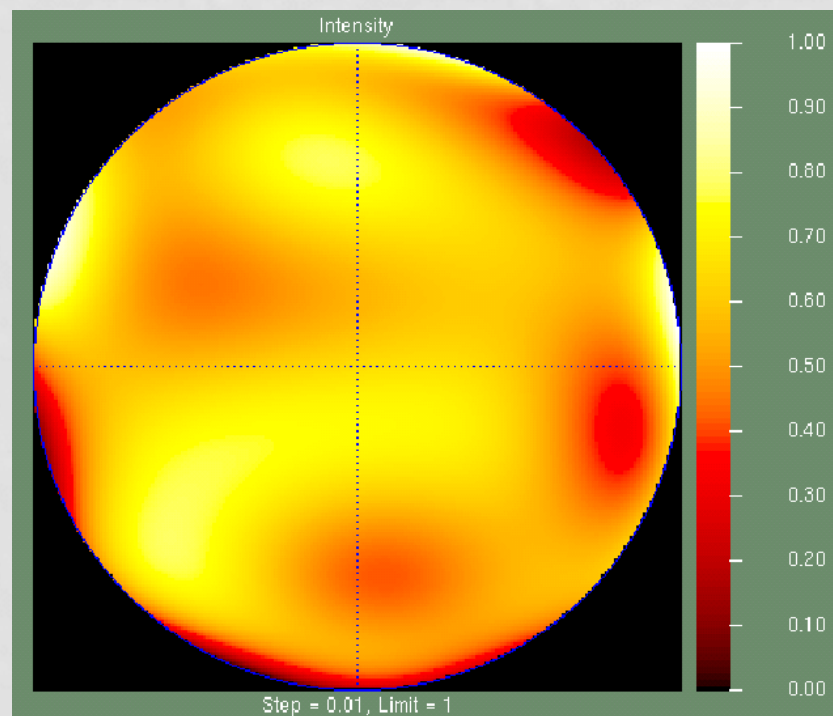


# ИСТОЧНИК ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

## Способ описания MAP

*x*      *y*      *Интенсивность*

```
1 [Version]
2 [Parameters]
3 step 0.01
4 [DATA]
5 -0.14   -0.99   0.000317147112222
6 -0.13   -0.99   0.0110664433221
7 -0.12   -0.99   0.0209407085877
8 -0.11   -0.99   0.0299582217799
9 -0.1    -0.99   0.0381356702392
10 -0.09  -0.99   0.0454881832191
11 -0.08  -0.99   0.052029362266
12 -0.07  -0.99   0.0577713085751
13 -0.06  -0.99   0.0627246473629
14 -0.05  -0.99   0.0668985492867
15 -0.04  -0.99   0.0703007489442
```



# ЦЕЛЬ

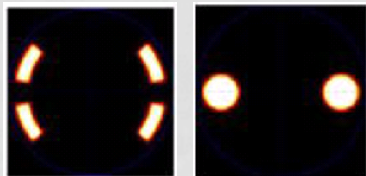
Выработать методику оптимизации источника освещения произвольной конфигурации.

## Задачи:

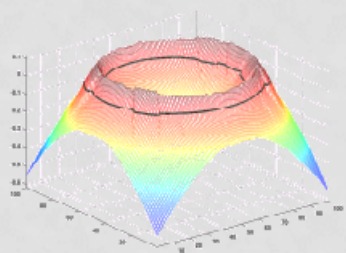
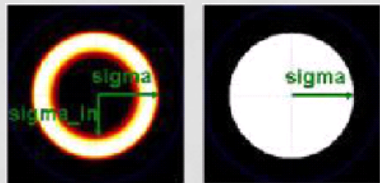
1. Анализ существующих методов оптимизации.
2. Разработка метода оптимизации:
  - Выбрать метод представления источника освещения;
  - Выработать критерий оптимизации;
  - Выбрать алгоритм оптимизации.
3. Тестирование метода.
4. Анализ результатов.



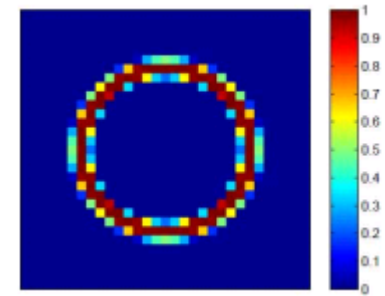
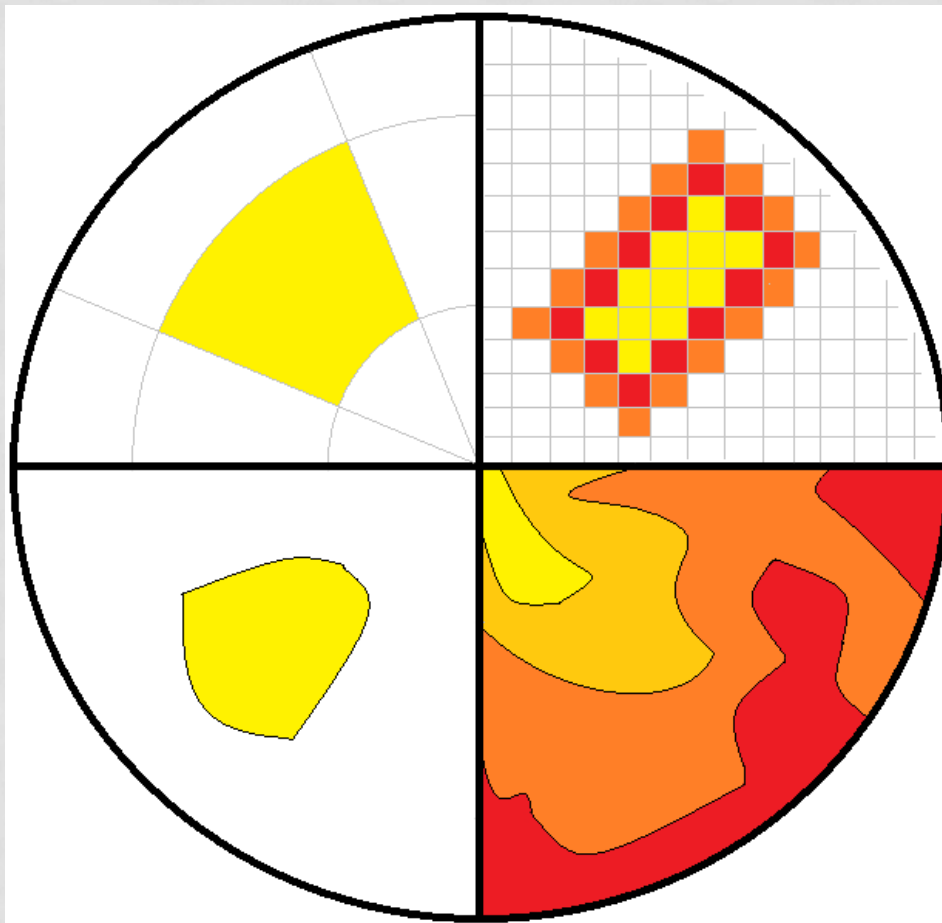
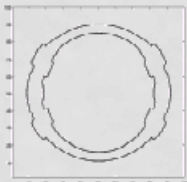
# МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ОСВЕЩЕНИЯ



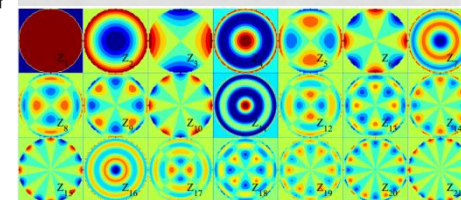
Параметрический



Контурный

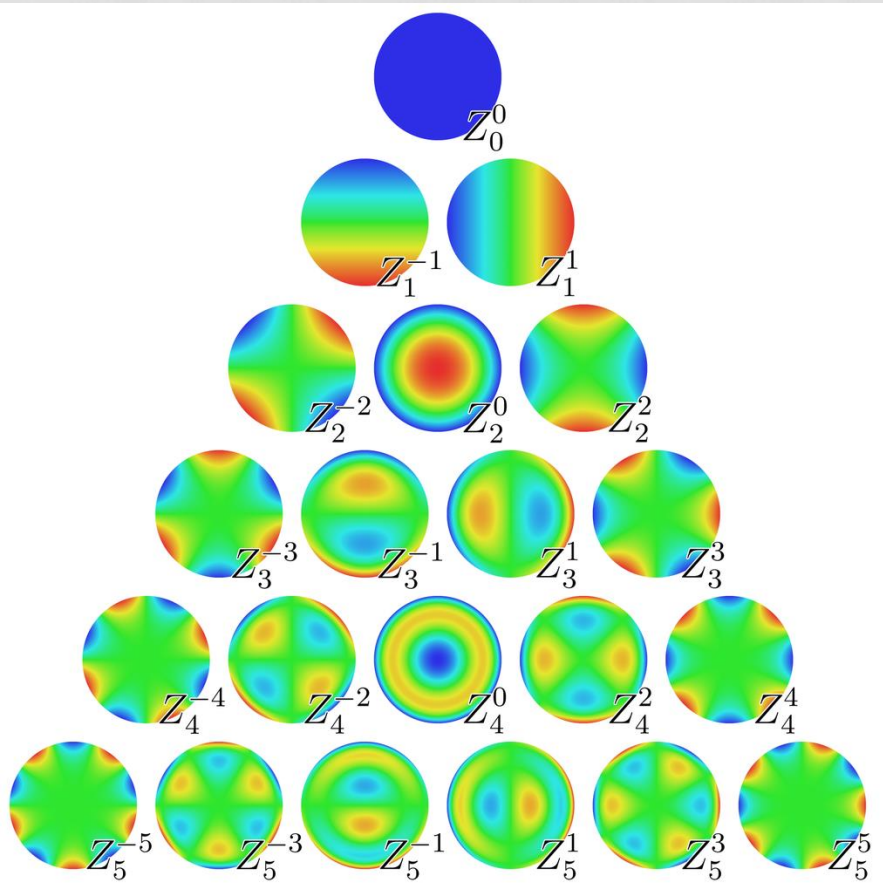


Пиксельный



На основе  
базисных  
функций

# ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ



Четные полиномы Цернике:

$$Z_n^m(\rho, \varphi) = R_n^m(\rho) \cos(m\varphi)$$

Нечетные полиномы Цернике:

$$Z_n^{-m}(\rho, \varphi) = R_n^m(\rho) \sin(m\varphi)$$

Радиальные полиномы:

$$R_n^m = \sum_{k=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k! \left(\frac{n+m}{2} - k\right)! \left(\frac{n-m}{2} - k\right)!} \rho^{n-2k}$$

Начальные базисные функции



# ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ

$$I(x, y) \rightarrow I([c_0, c_1, \dots, c_n]) = T \left\{ \sum_{i=0}^n c_i \omega_i(x, y) \right\}$$

$\omega_i(x, y)$  – это базисная функция,

$c_i$  – соответствующие коэффициенты при базисных функциях,

$T\{*\}$  – оператор, нормирующий значение интенсивности.

$$c = [c_0, c_1, \dots, c_n]$$

Задача – получить такой вектор коэффициентов, чтобы найти минимум критерия оптимизации:

$$c^* = \arg \min_c B(c)$$

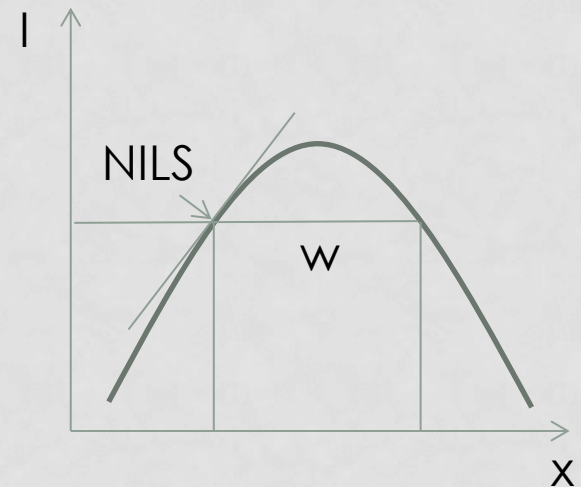
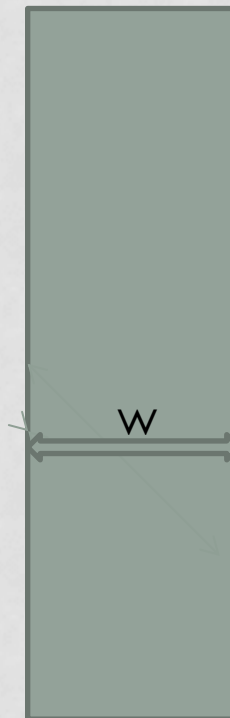
# КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ

$B(c)$  – критерий оптимизации.

$$B(c) = \frac{1}{O_{NILS}(F)}$$

$O_{NILS}$  - производные на кривой интенсивности.

$O_{NILS}(F)$  зависимость NILS от значения фокуса.



# АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ БЕЗ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ

$$c = [c_0, c_1, \dots, c_n]$$

1.  $c_i$
  2.  $[c_i - \Delta, c_i + \Delta]$
  3.  $c' = \arg \min_{x_i \in [c_i - \Delta, c_i + \Delta]} B([\dots, x_i, \dots])$
- $\Delta$  - интервал варьирования
- $c \rightarrow c^*$

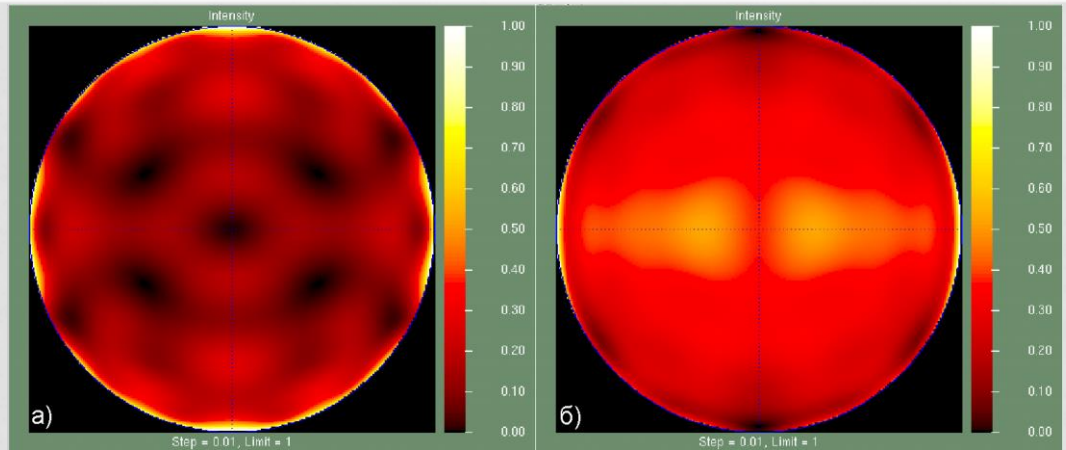
Необходимо проводить несколько итераций оптимизации вектора для достижения оптимального результата.



# РЕЗУЛЬТАТЫ

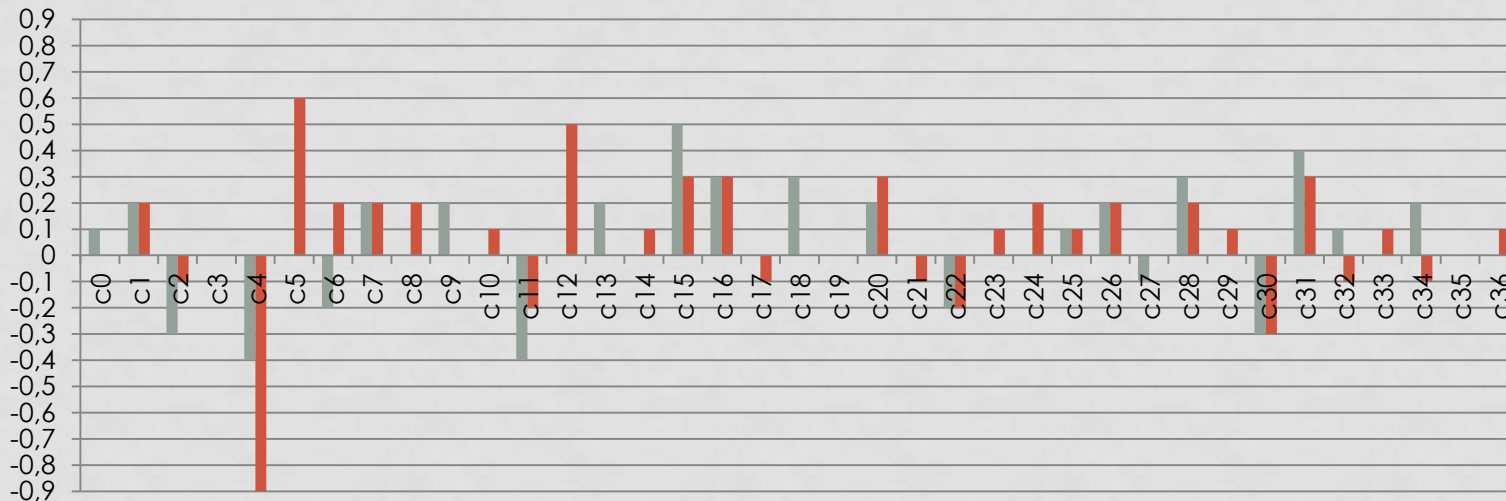
Параметры моделирования:

- Тестовая структура – уединенная линия шириной 90 нм;
- Три значения фокуса 40, 70, 100 нм;
- 37 полиномов Цернике.



Исходный источник

Итог 4-й итерации



Серый цвет – исходный источник

Красный цвет – итог 4-й итерации

# РЕЗУЛЬТАТЫ

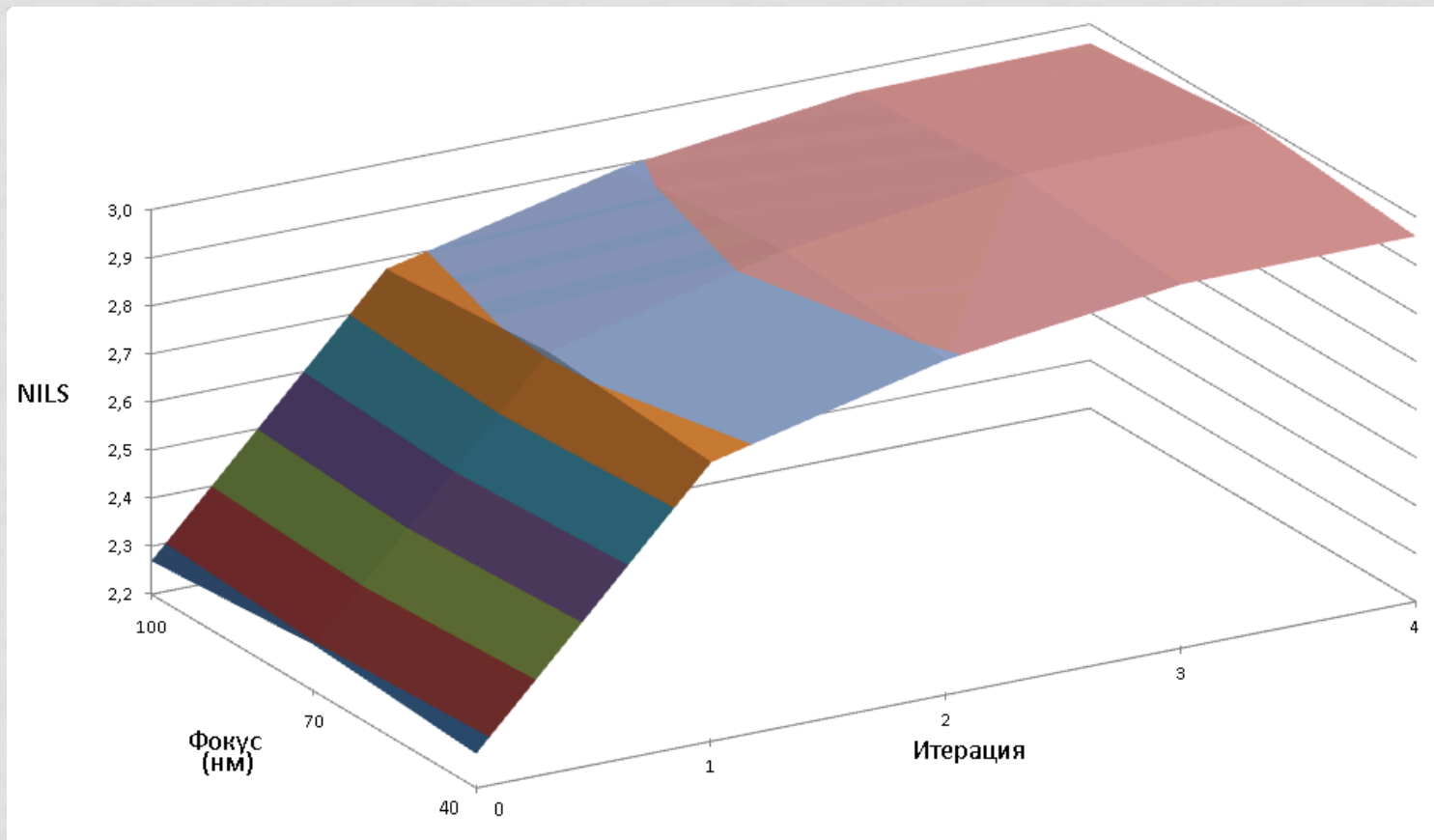


График зависимости NLS от фокуса для каждой итерации.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы был проведен анализ существующих методов представления и оптимизации источников освещения.

Выработана методика оптимизации освещения.

Дальнейшая задача – выработать критерий оптимизации, позволяющий использовать данный метод для оптимизации с реальной топологией.



Спасибо за внимание!