



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ЛЕТЧИКА-КОСМОНАВТА А.А. ЛЕОНОВА»

---

ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА МАТЕМАТИКИ И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

# **Разработка программы для расчётов и анализа параметров качества изображения, получаемого при съёмке**

Автор: студент группы ПМИ-РКС-21 Молодов Алексей Алексеевич

Руководитель ВКР: к.т.н. доцент Раев Олег Николаевич

Королёв

2025 г.

# Цель и задачи

Цель: разработать программу для расчета и анализа параметров пограничной кривой цифрового изображения.

Задачи:

1. Провести анализ математических моделей преобразования оптического изображения, формируемого объективом, и светочувствительной матрицей.
2. Обосновать выбор пограничной кривой для оценки качества изображения.
3. Разработать программу для расчета параметров пограничной кривой.
4. Провести тестирование разработанной программы.

# Расчет дискретных значений экспозиций

$$H^*(n, m) = \frac{1}{4l_{\text{ап}}^2} \int_{-\frac{t_{\text{экс}}}{2}}^{+\frac{t_{\text{экс}}}{2}} \int_{-\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (n-1)l_{\text{ш}}}^{+\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (n-1)l_{\text{ш}}} \int_{-\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (m-1)l_{\text{ш}}}^{+\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (m-1)l_{\text{ш}}} E'_{\text{оп}}(x, y, t, h, V) E'_{\text{об}}(t) dx dy dt$$

$t_{\text{экс}}$  – время экспонирования

Скорость перемещения оптического изображения

$l_{\text{ап}}$  – ширина апертуры фотодиода

относительно светочувствительной матрицы

$l_{\text{ш}}$  – шаг дискретизации

$h$  – высота полета

$$V_{\text{изб}} = \frac{V \cdot f'}{h}$$

$V$  – скорость летательного аппарата

Размер изображения

Частота дискретизации

$E_{\text{оп}}$  – распределение освещённости, построенное  
объективом

$$\frac{l'}{l} = \frac{a'}{a}$$

$$f_{\text{д}} = \frac{1}{l_{\text{ш}}}$$

$E_{\text{об}}$  – характеристика обтюрации

# Расчет дискретных значений экспозиций

$$H^*(n, m) = \frac{1}{4l_{\text{ап}}^2} \int_{-\frac{t_{\text{экс}}}{2}}^{+\frac{t_{\text{экс}}}{2}} \int_{-\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (n-1)l_{\text{ш}}}^{+\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (n-1)l_{\text{ш}}} \int_{-\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (m-1)l_{\text{ш}}}^{+\frac{l_{\text{ап}}}{2} + (m-1)l_{\text{ш}}} E'_{\text{оп}}(x, y, t, h, V) E'_{\text{об}}(t) dx dy dt$$

Формула для апертурной характеристики пикселя

$$E'_{\text{об}}(t) = \frac{1}{t_{\text{экс}}} \cdot \text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } |t| < \frac{t_{\text{экс}}}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{при } |t| = \frac{t_{\text{экс}}}{2} \\ 0 & \text{при } |t| > \frac{t_{\text{экс}}}{2} \end{cases}$$

$$y(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x < \frac{l_x^{\text{ап}}}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{при } x = \frac{l_x^{\text{ап}}}{2} \\ 0 & \text{при } x > \frac{l_x^{\text{ап}}}{2} \end{cases}$$

$x$  – горизонтальная пространственная координата в плоскости светочувствительного слоя матрицы.

# Оценка качества изображения

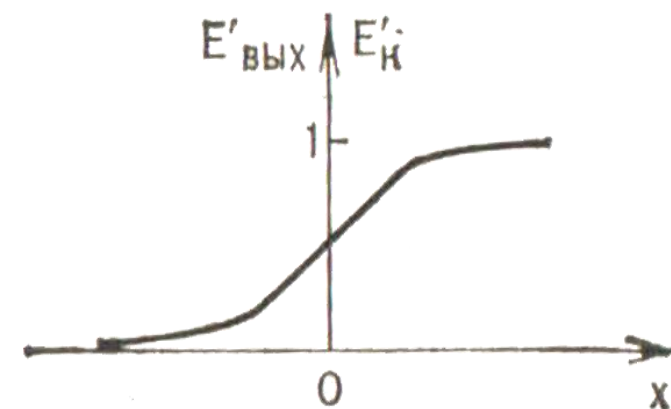
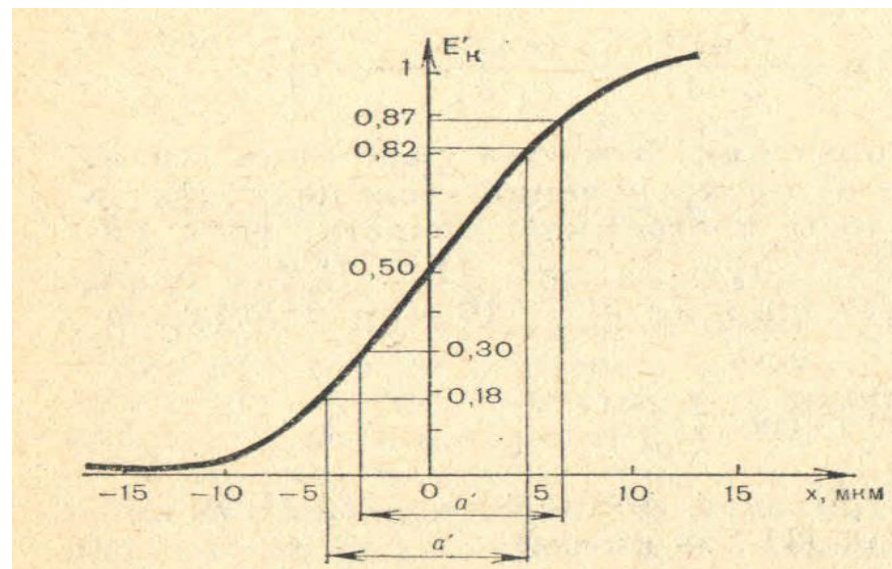
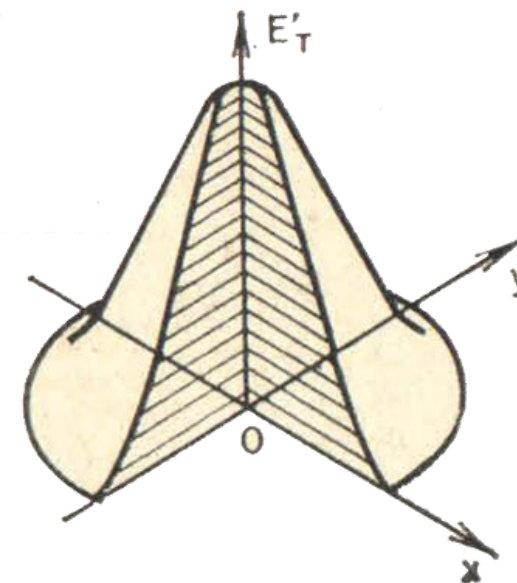
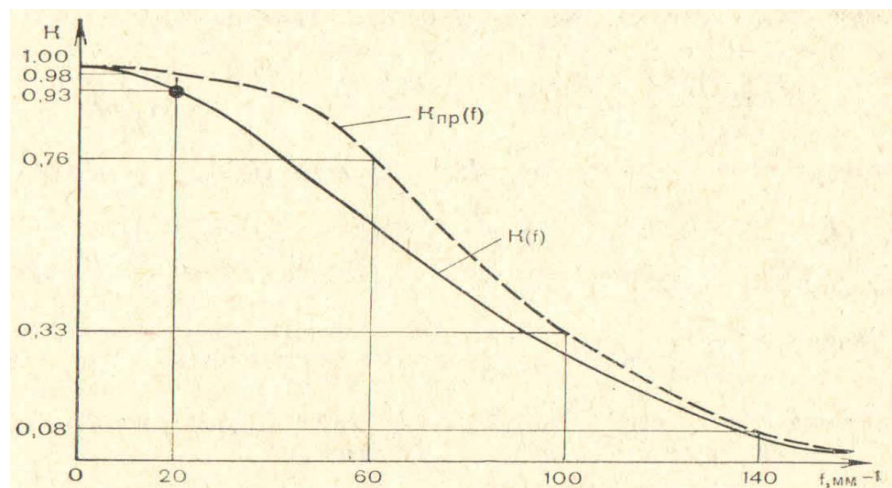
Разрешающая способность

Резкость

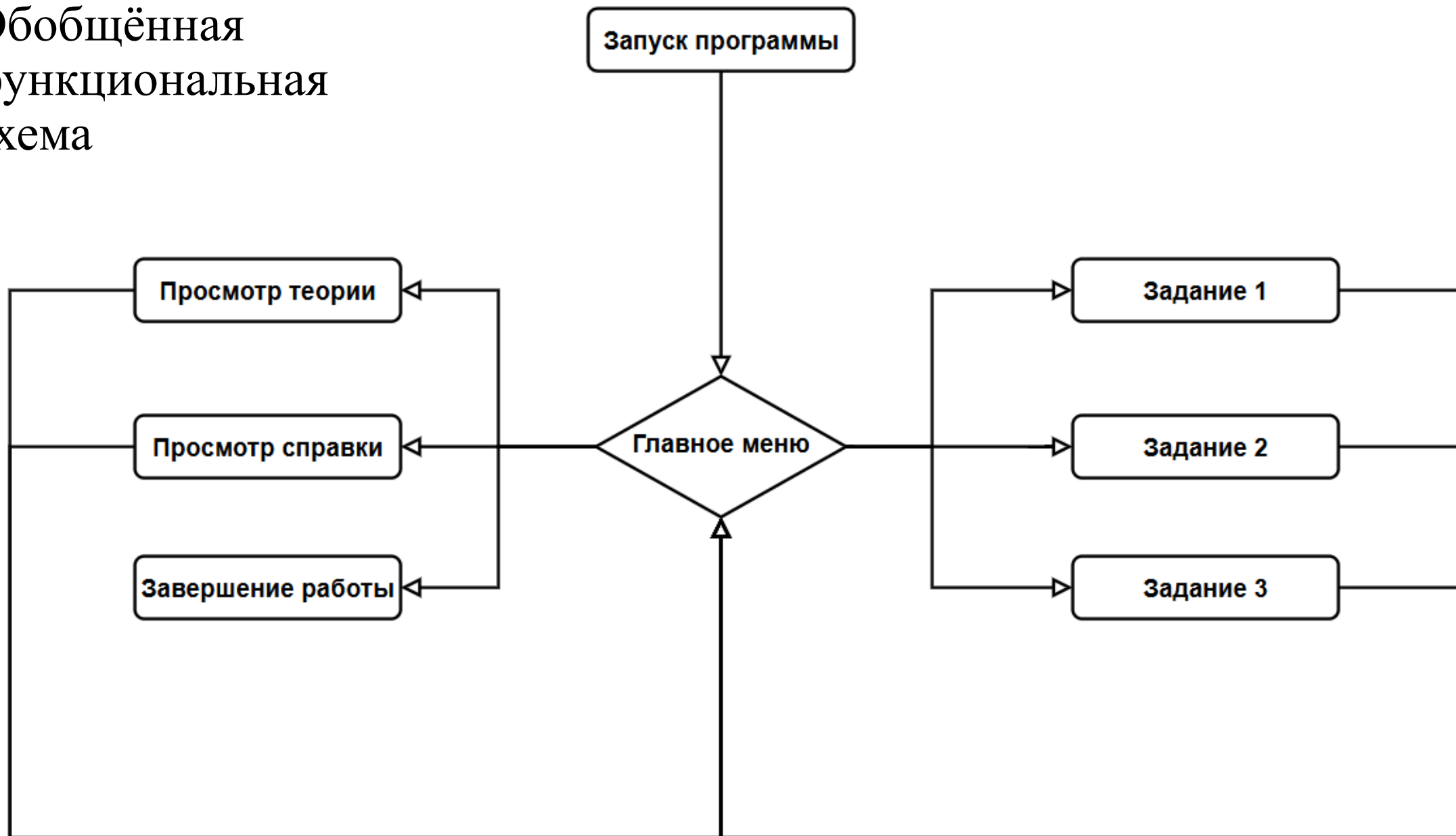
Функция рассеяния точки

Пространственная частотная характеристика

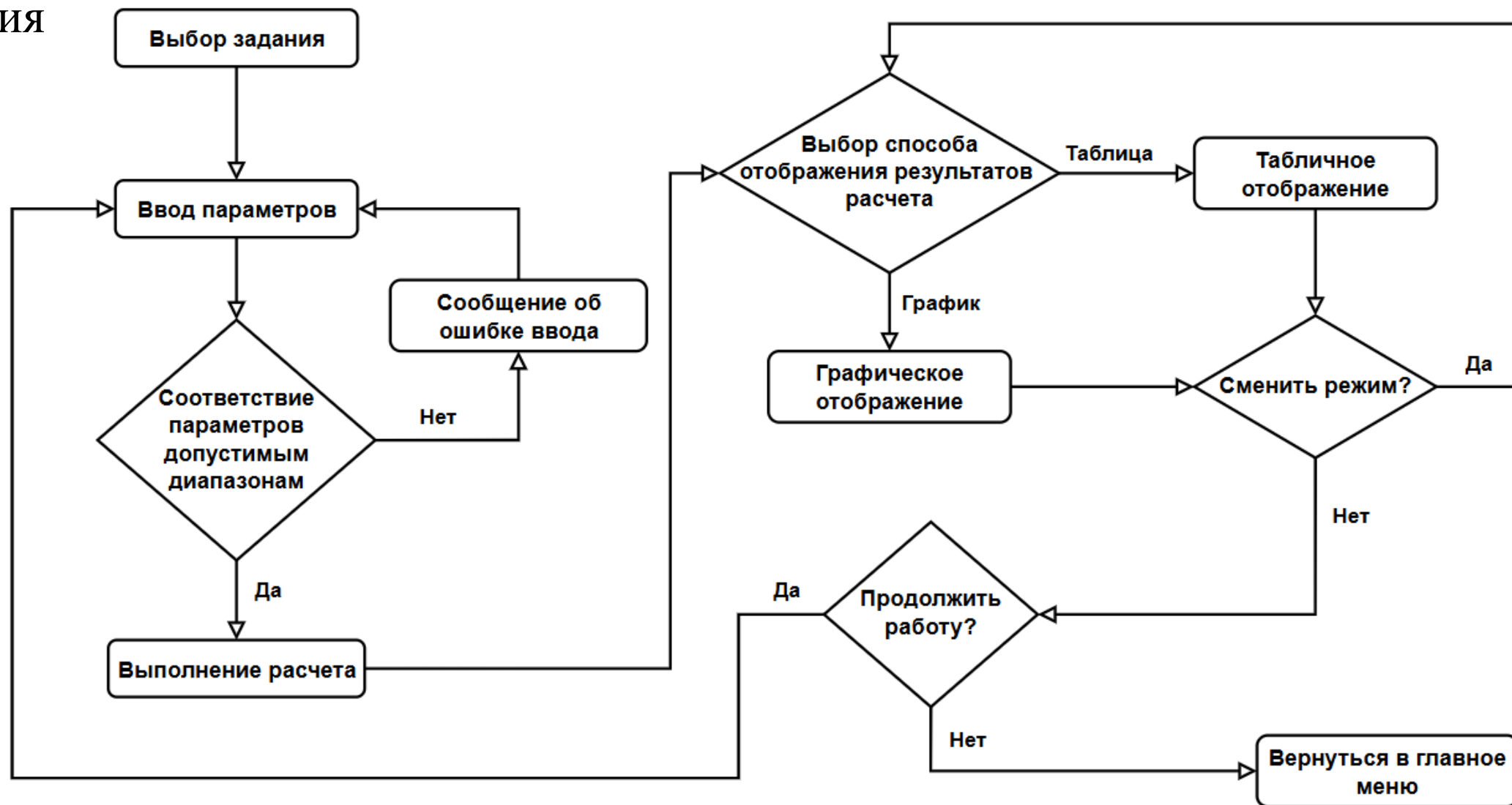
Пограничная кривая



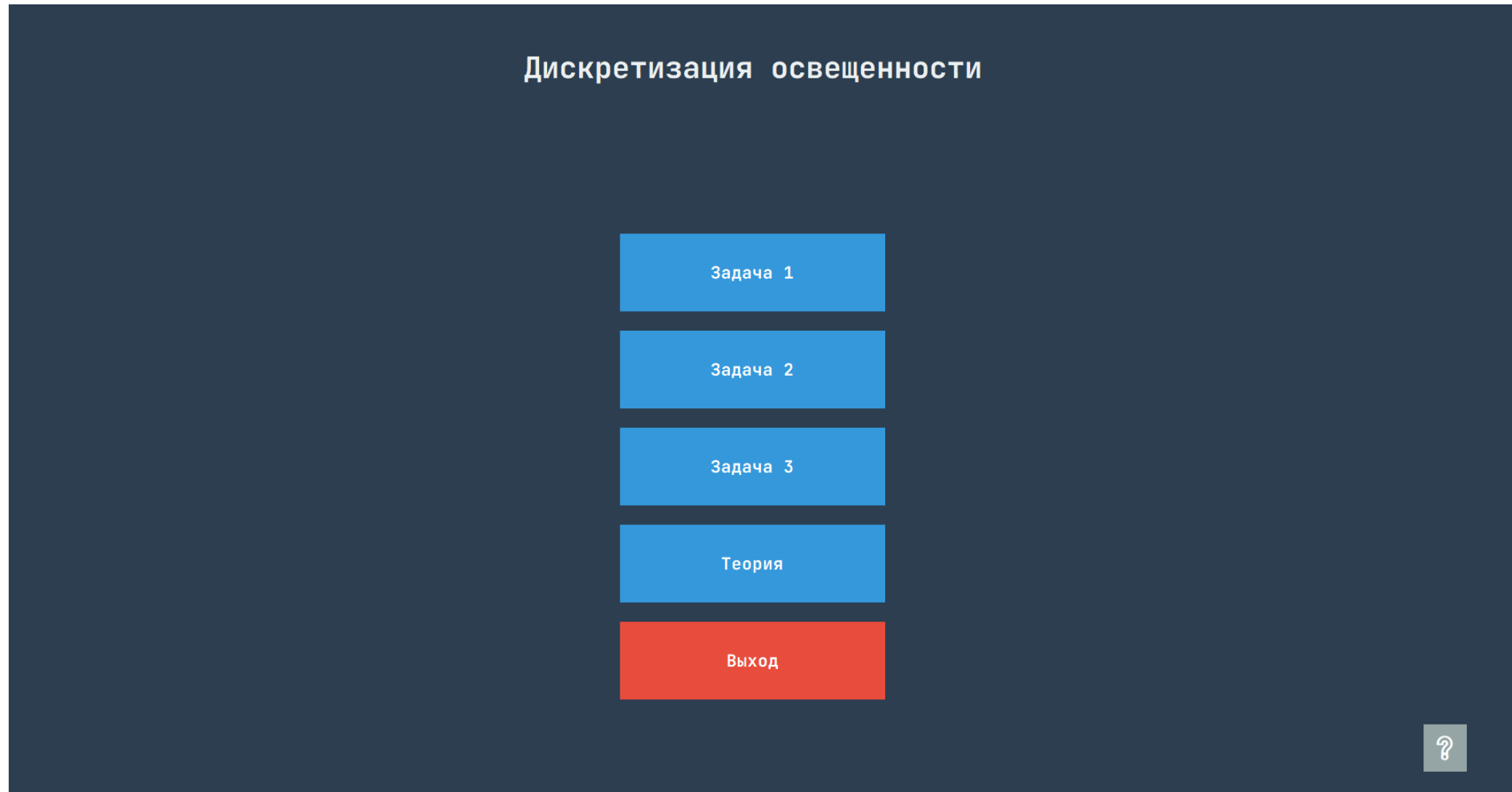
# Обобщённая функциональная схема



Фрагмент  
функциональной  
схемы выполнения  
задания



# Интерфейс главного меню





## Задание 1

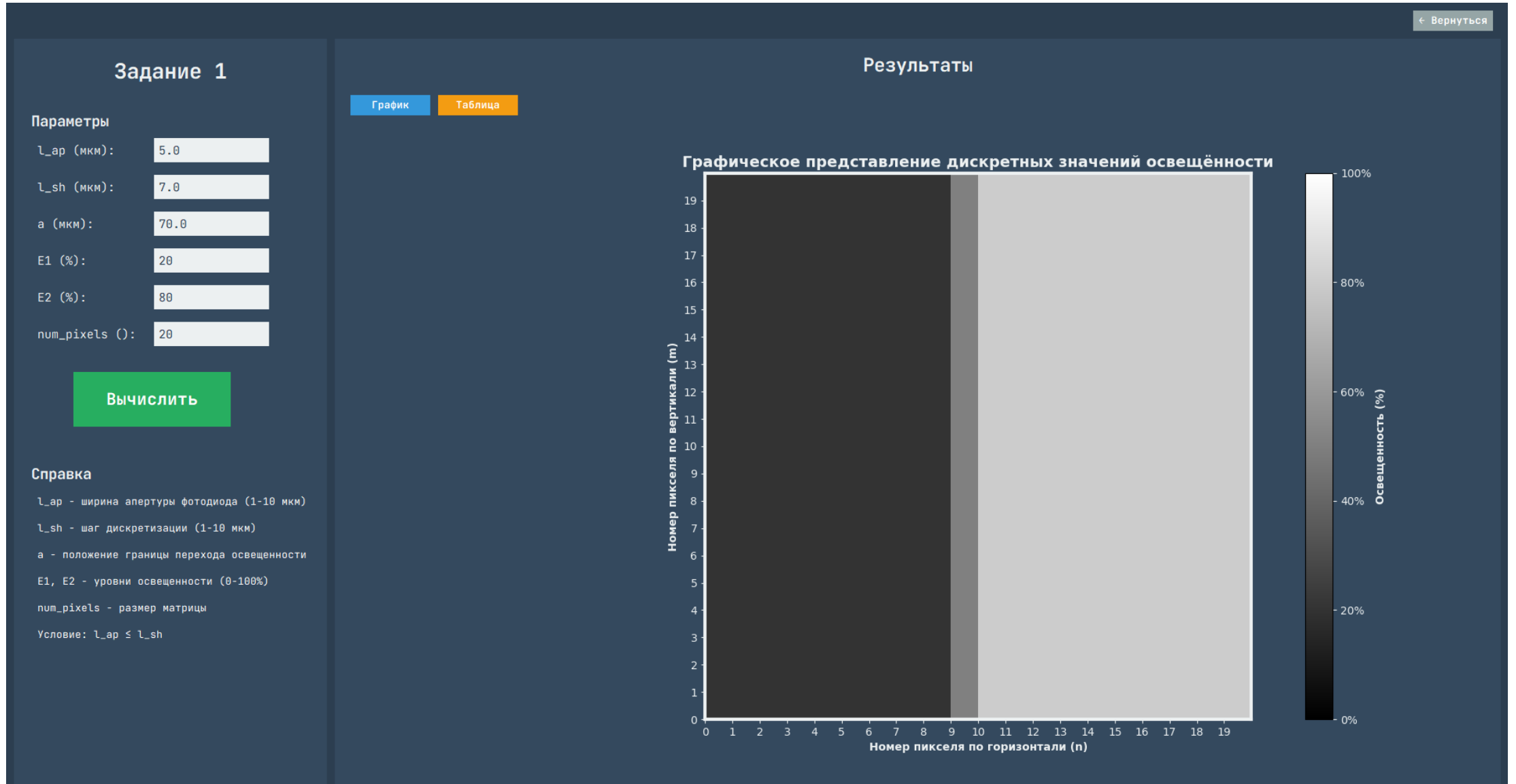
Исходные данные :  $V = 0$  , объектив идеальный, край изображения объекта перпендикулярен оси  $x$ .

$$E'(x) = \begin{cases} E_1 & \text{при } x < a \\ E_2 & \text{при } x > a \end{cases}$$

$$E^*(n) = \begin{cases} E_1 & \text{при } n < n_a \\ \frac{1}{l_{\text{ап}}} \left( \left( \frac{l_{\text{ап}}}{2} - (l_{\text{ш}} \cdot n_a - a) \right) E_1 + \left( \frac{l_{\text{ап}}}{2} + (l_{\text{ш}} \cdot n_a - a) \right) E_2 \right) & \text{при } n = n_a \\ E_2 & \text{при } n > n_a \end{cases}$$

$n_a = \left\lceil \frac{a + \frac{l_{\text{ш}}}{2}}{l_{\text{ш}}} \right\rceil$  – номер фотодиода, через который будет проходить граница перехода освещенностей.

# Интерфейс задания 1



## Постановка задания 2

Исходные данные :  $V=0$ ; объектив размывает край, ширина размытия края ( $\Delta = b - a$ ) из-за aberrаций объектива и дифракции света на диафрагмах.

$$E(x) = \begin{cases} E_1 \text{ при } x \leq a \\ \frac{(x - a)(E_2 - E_1)}{b - a} + E_1 \text{ при } a < x < b \\ E_2 \text{ при } x \geq b \end{cases} \quad E^*(n) = \begin{cases} E_1 \text{ при } n \leq n_a \\ \frac{(n - n_a)(E_2 - E_1)}{n_b - n_a} + E_1 \text{ при } n_a < n < n_b \\ E_2 \text{ при } n \geq n_b \end{cases}$$

$$n_a = \left\lceil \frac{a + \frac{l_{\text{ш}}}{2}}{l_{\text{ш}}} \right\rceil, n_b = \left\lceil \frac{b + \frac{l_{\text{ш}}}{2}}{l_{\text{ш}}} \right\rceil - \text{номера пикселей, на которые попадают точки перегиба функции } E(x).$$

$a$  – координата на оси  $x$ , где начинается изменение освещенности.

$b$  – координата на оси  $x$ , где заканчивается изменение освещенности.

# Интерфейс задания 2

## Задание 2

### Параметры

$\tau_{ap}$  (мкм):

$\tau_{sh}$  (мкм):

a (мкм):

b (мкм):

E1 (%):

E2 (%):

num\_pixels ():

Вычислить

### Справка

$\tau_{ap}$  - ширина апертуры фотодиода (1-10 мкм)  
 $\tau_{sh}$  - шаг дискретизации (1-10 мкм)  
a - начало области размытия  
b - конец области размытия  
E1, E2 - уровни освещенности (0-100%)  
num\_pixels - размер матрицы  
Условия:  $\tau_{ap} \leq \tau_{sh}$

## Результаты

График

Таблица

### Табличное представление дискретных значений освещённости(%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
2	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
3	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
4	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
5	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
6	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
7	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
8	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
9	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0
10	20.0	20.0	20.0	33.5	48.5	63.5	78.5	80.0	80.0	80.0

## Постановка задания 3

Исходные данные : движение края происходит вдоль оси  $x$  со скоростью  $V$  (мм/с).

$t_{\text{эксп}} = \frac{1}{k}$  — время экспонирования, обратно пропорционально значению показателя выдержки.

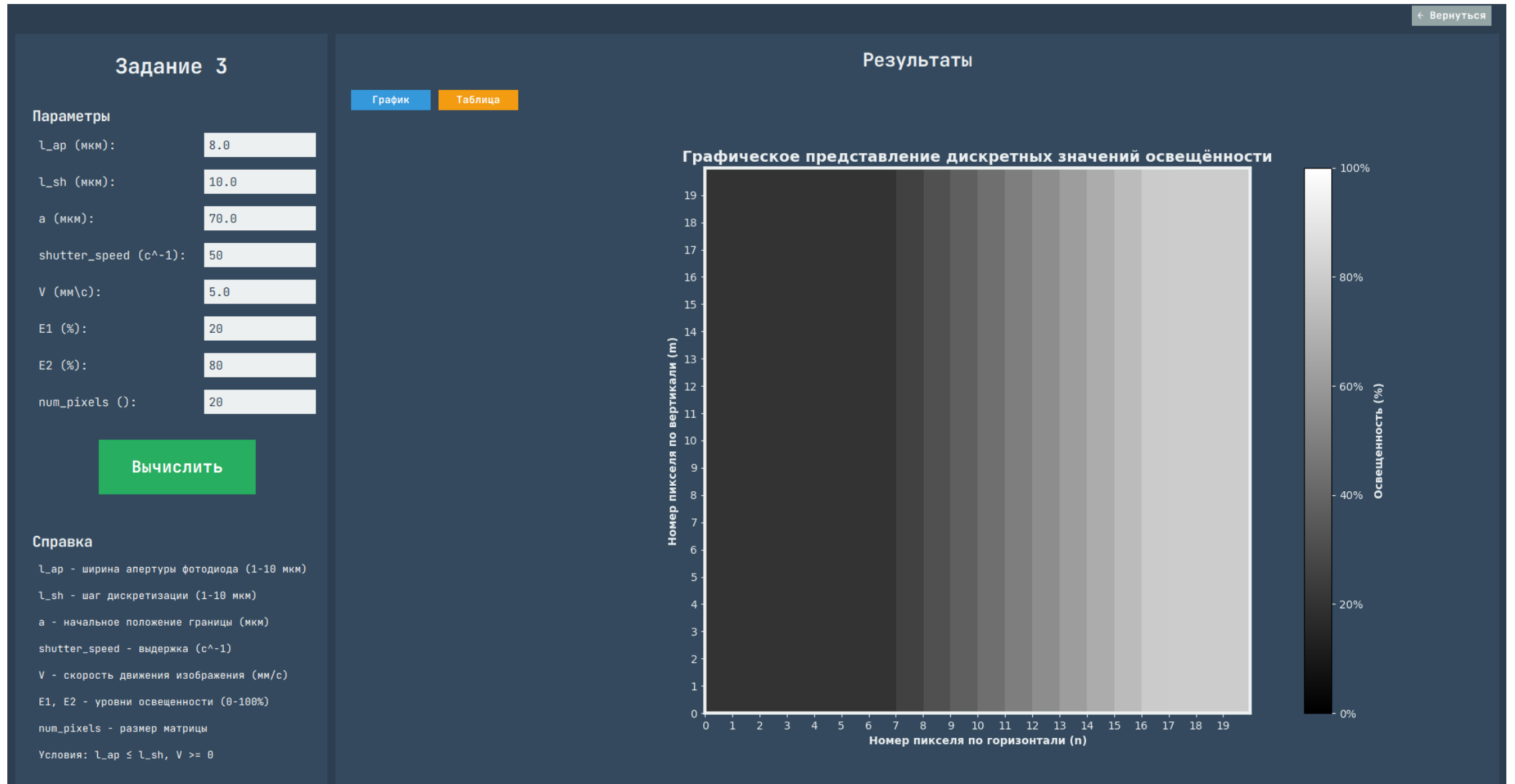
Начальное положение края в момент начала экспонирования  $x = a$ .

Конечное положение края в момент окончания экспонирования  $x = b$ .

$$b = a + V \cdot t_{\text{эксп}}$$

$$E(x) = \begin{cases} E_1 & \text{при } x \leq a \\ \frac{(x - a)(E_2 - E_1)}{b - a} + E_1 & \text{при } a < x < b \\ E_2 & \text{при } x \geq b \end{cases} \quad E^*(n) = \begin{cases} E_1 & \text{при } n \leq n_a \\ \frac{(n - n_a)(E_2 - E_1)}{n_b - n_a} + E_1 & \text{при } n_a < n < n_b \\ E_2 & \text{при } n \geq n_b \end{cases}$$

# Интерфейс задания 3



# Интерфейс теории

## Теория

[← Вернуться](#)

### 1. ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ

Дискретизация освещенности - это процесс преобразования непрерывного распределения освещенности в дискретные значения, соответствующие пикселям матрицы фотодиодов. Каждый фотодиод имеет определенную апертуру и расположен с определенным шагом дискретизации.

### 2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

- $l_{ap}$  - ширина апертуры фотодиода (мкм) - определяет размер светочувствительной области
- $l_{sh}$  - шаг дискретизации (мкм) - расстояние между центрами соседних пикселей
- $a$  - координата границы перехода освещенности (мкм)
- $b$  - координата конца области размытия (мкм)
- $E1, E2$  - начальный и конечный уровни освещенности (%)

### 3. ЗАДАЧА 1 - Статический край

Рассматривается случай перехода освещенности в точке  $a$ . Освещенность для каждого пикселя определяется следующим образом:

Алгоритм расчета:

1. Вычисляется номер пикселя  $n_a$ , через который проходит граница:  
$$n_a = ((a + l_{sh}/2) / l_{sh})$$
2. Для пикселей  $n < n_a$ : освещенность =  $E1$
3. Для пикселей  $n > n_a$ : освещенность =  $E2$
4. Для пикселя  $n_a$ :  
$$E(n_a) = [(l_{ap}/2 - (l_{sh} * n_a - a)) * E1 + (l_{ap}/2 + (l_{sh} * n_a - a)) * E2] / l_{ap}$$

### 4. ЗАДАЧА 2 - Размытый край

Рассматривается случай перехода освещенности между точками  $a$  и  $b$ . Освещенность изменяется линейно на участке  $(a, b)$ :

Функция освещенности:

$$\begin{aligned} E(x) &= E1, \text{ если } x \leq a \\ E(x) &= E1 + (E2 - E1) * (x - a)/(b - a), \text{ если } a < x < b \\ E(x) &= E2, \text{ если } x \geq b \end{aligned}$$

## Заключение

1. Разработана программа для расчета пограничной кривой.
  - Статический край.
  - Размытый край.
  - Динамический край.
2. Результаты выполнения программы представлены в графическом и табличном виде.



Спасибо за внимание!