

Утверждён

643.ВДАШ.63.01.29-01 34 02-ЛУ

ШАН  
ВЕРСИЯ 13

Руководство оператора

643.ВДАШ.63.01.29-01 34 02

Листов 129

Инва. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инва. № дубл.	
Подп. и дата	

2021

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Литера

Копировал

## АННОТАЦИЯ

В данном документе дано руководство оператора программы «ШАН (ВЕР.13)».

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## СОДЕРЖАНИЕ

### Оглавление

АННОТАЦИЯ .....	2
Оглавление.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	6
2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ .....	7
3 УСТАНОВКА И ЗАПУСК ПРОГРАММЫ.....	8
4 ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ .....	10
4.1 Графический пользовательский интерфейс .....	10
4.2. Главное окно программы. ....	10
4.2.1. Меню .....	11
4.2.1.1. Файл .....	11
4.2.1.1.1. Данные .....	11
4.2.1.1.2. Открыть.....	11
4.2.1.1.3. Сохранить как.....	12
4.2.1.1.4. Настройки .....	13
4.2.1.1.5. Последние файлы.....	14
4.2.1.1.6. Выйти .....	14
4.2.1.2. Вид .....	14
4.2.1.2.1. Закрепить все.....	14
4.2.1.2.2. Открепить все.....	14
4.2.1.2.3. Фиксировать все.....	14
4.2.1.2.4. Освободить все.....	14
4.2.1.2.5. Расположить окна каскадом.....	14
4.2.1.3. Справка .....	14
4.2.1.3.1. О ShahQ.....	15
4.2.1.3.2. О Qt.....	15
4.2.1.4. Отчёт .....	16
4.2.2. Панели элементов управления.....	17
4.2.2.1. Панель Инструменты .....	17
4.2.2.2. Панель Изображения .....	18
4.2.2.3. Панель Графики .....	18
4.2.2.4. Панель Таблицы.....	19
4.2.2.5. Панель Результат .....	20
4.2.2.6. Панель Фона\Опорного изображения.....	20
4.3. Панель Настройки.....	23
4.3.1. Закладка Общее .....	23
4.3.2. Закладка Устройства .....	25
4.3.2.1. Раздел Модуль ДВФ .....	25
4.3.2.2. Раздел Камера ДВФ.....	27
4.3.2.3. Раздел Корректор ДВФ .....	29
4.3.3. Закладка Обработка изображений .....	31
4.3.4. Закладка ДВФ .....	33
4.3.5. Закладка Соединение .....	35
4.3.6. Закладка Калибровка .....	36
4.3.7. Закладка Опорное.....	38
4.3.8. Закладка Обратная связь.....	40

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

4.3.9.	Закладка Опции .....	44
4.4	Панель управления.....	46
4.4.1	Измерения .....	46
4.4.2	Опции.....	48
4.4.3	Корректор.....	49
4.4.4	Обратная связь.....	50
4.5	Панель Корректор ВФ .....	51
4.5.1	Каналы.....	51
4.5.2	Группы.....	52
4.5.3	Временная диаграмма .....	53
4.6	Сенсор .....	54
4.7	 Окна изображений.....	56
4.7.0.1	Окно Информация.....	56
4.7.0.2	Окно 3D.....	57
4.7.0.3	Окно Сечение .....	58
4.7.1	Изображение с камеры ДВФ .....	58
4.7.2	Изображение ВФ .....	62
4.8.	 Окна таблиц .....	64
4.8.1	Таблица Полиномы .....	64
4.8.2	Таблица ФО:Разложение .....	66
4.8.3	Таблица ФО:Полиномы .....	67
4.8.4	Таблица Сдвиг опорного .....	68
4.8.5	Таблица Пучок.....	69
4.9.	 Окна графиков .....	71
4.9.1.	График Полиномы.....	71
4.9.2.	График ФО: Разложение.....	72
4.10.	 Окна результатов .....	73
4.10.1.	Результат Текущее.....	74
4.11.	Калибровка ФО.....	75
4.11.1	Окно ФО.....	77
4.12.	Создание отчёта.....	78
4.12.1.	Окно формирования отчёта .....	78
4.12.2.	Диалог опций отчёта .....	79
4.12.3.	Окно редактирования отчёта .....	80
5.	ПАНЕЛИ НАСТРОЕК ЗАГРУЖАЕМЫХ МОДУЛЕЙ.....	82
5.1.	Модуль ДВФ.....	82
5.2.	Модуль камеры ДВФ.....	84
5.3.	Модуль КВФ.....	85
5.3.1.	Диалог Каналы КВФ.....	85
5.3.2.	Диалог Группы КВФ.....	87
5.3.3.	Диалог Конфигурация КВФ.....	88
5.3.4.	Диалог Параметры КВФ.....	90
6.	ПРИНЦИП РАБОТЫ ДАТЧИКА ШаГ-25020 .....	91
6.1	Вычисление координат центров точек фокусировки .....	92
6.2	Восстановление волнового фронта .....	93
6.2.1	Восстановление волнового фронта на апертурной сетке.....	93
6.2.2.	Метод модовой реконструкции .....	94

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

6.3	Точность измерений волнового фронта.....	95
6.3.1	Ошибки дискретизации .....	95
6.3.2	Шумы датчика изображения .....	96
6.3.3	Ошибки восстановления волнового фронта .....	97
6.3.4.	Другие источники ошибок .....	97
6.4	Схемы контроля оптических поверхностей .....	98
6.4.1	Тестирование прозрачных оптических объектов.....	98
6.4.2	Тестирование отражающей оптики .....	99
6.4.3	Тестирование сферической и асферической оптики .....	100
6.5	ДФВ в системе с замкнутой обратной связью. ПИД – регуляторы. ....	103
6.5.1.	Пропорционально-интегро-дифференциальные (ПИД) - регуляторы .....	103
6.5.2.	Цифровая реализация ПИД – регулятора. ....	106
7.	Литература.....	109
	Приложение 1. Команды удаленного управления .....	110
	Приложение 2. Структура файла WFS.....	118
	Приложение 3 Представления полиномов Цернике.....	122
ПЗ.1.	OSA (Американское Оптическое Общество).....	122
ПЗ.2	Борн и Вольф .....	124
ПЗ.3	Представление “Fringe” .....	126
ПЗ.4	Полиномы Цернике для кольцевой апертуры. ....	128
ПЗ.5	Полиномы Лежандра.....	128

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

- 1.1. Наименование программы: СПО ДВФ ШАН (VER.13) (далее – Программа, программное обеспечение, ПО).
- 1.2. Обозначение: 643.ВДАШ.63.01.29-01.
- 1.3. Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы:
  - операционная система, совместимая с Linux Debian 10 (например, Astra Linux 1.6 SE),
  - MS Windows версии 7 или более поздняя;
- 1.4 Вариант названия ShahQ.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ

- 2.1 Программа предназначена для измерения отклонения волнового фронта (ВФ) от референсного положения. В случае комплектации системы корректором ВФ (КВФ) Программа может осуществлять коррекцию ВФ - обратную связь (ОС). Измерение и коррекция осуществляются в реальном времени с частотой, задаваемой частотой работы камеры модуля измерительного (МИ) датчика ВФ (ДВФ). Программа также позволяет контролировать юстировку ДВФ и процесс коррекции ВФ. Основные вычислительные алгоритмы и пользовательский интерфейс защищены Свидетельствами о регистрации прав на программное обеспечение №№ RU 2008615294, RU 2009612356 и RU 2021619024.
- 2.2 Контроль производится в интерактивном режиме и позволяет визуализировать данные в соответствии с выбранными свойствами и атрибутами.
- 2.3 Программа обеспечивает:
- 2.3.1 визуализацию входных данных МИ ДВФ (гартманнограмма);
  - 2.3.2 визуализацию обработанных данных МИ ДВФ;
  - 2.3.3 визуализацию состояния ДВФ, в том числе:
    - частоту и экспозицию камеры ДВФ;
    - индикацию ошибок ДВФ и КВФ;
    - возможность задания референсного изображения;
    - возможность измерения функций отклика (ФО) КВФ;
    - возможность продолжения работы после устранения отклонений, вызванных сбоями технических средств (в некоторых случаях может потребоваться перезагрузка ЭВМ);
  - 2.3.4 Программа обеспечивает возможность записывать следующие данные в процессе работы:
    - дата;
    - время;
    - состояние ДВФ;
    - выдержка камеры МИ ДВФ;
    - частота камеры МИ ДВФ;
    - среднеквадратичное отклонение и размах ВФ;
    - изображения с камеры МИ ДВФ;
    - сигналы рассогласования;
    - сигналы управления КВФ.
  - 2.3.5 Программа обеспечивает возможность изменять выдержку камеры МИ ДВФ, управлять КВФ в ручном режиме и в режиме замкнутой обратной связи.
  - 2.3.6 Программа обеспечивает возможность конфигурации параметров и сохранения их в файлы настроек.
- 2.4 Функциональные ограничения
- 2.4.6.1 Дополнительных функций сверх указанных тактико-технических характеристик не предусмотрено.

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 3 УСТАНОВКА И ЗАПУСК ПРОГРАММЫ

#### 3.1 Установка программы.

- 3.1.1 Под ОС Windows программа устанавливается путем запуска самораспаковывающегося архива. После инсталляции на рабочем столе появится ярлык ShahQ.
- 3.1.2 Под ОС Linux (в том числе Astra Linux 1.6 SE) скопируйте архив ShahQ.zip в пользовательскую папку. Распакуйте архив в эту папку. При возможности создайте ярлык на рабочем столе для файла ShahQ.sh.

#### 3.2 Запуск программы.

- 3.2.1 Под ОС Windows запустите ярлык на рабочем столе ShahQ.
- 3.2.2 Под ОС Linux (в том числе Astra Linux 1.6 SE) запустите ярлык на рабочем столе ShahQ. Возможно также открыть окно терминала в папке, содержащей файл ShahQ.sh, и выполнить команду ./ShahQ.sh.
- 3.2.3 Если при загрузке модулей были обнаружены ошибки (см. 4.3.2) и пользователь нажал кнопку **Отмена** либо при критических ошибках инициализации, то после старта программы будет высвечено окно **Ошибка инициализации**:

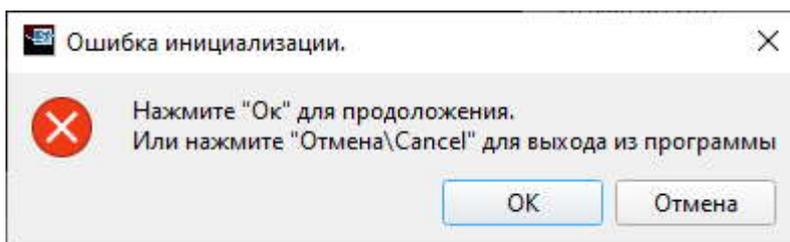


Рисунок 3.2.3. Предупреждение об Ошибках инициализации.

Пользователь может прервать продолжение выполнения Программы или продолжить с целью исправления ошибок загрузки.

#### 3.3 Параметры запуска программы. Доступны следующие опции запуска программы:

- 3.3.1 -Y – задание конфигурации системы, например (-Ymono). Не должна содержать пробелы.
- 3.3.2 -L – знак «-» отключает локализацию (перевод): -L-
- 3.3.3 -OGL – знак «-» отключает ускорение вывода графиков с использованием технологии OpenGL: -OGL-. Необходимо в случае запуска программы в среде, не поддерживающей технологию OpenGL.
- 3.3.4 -Q – знак «-» отключает применение заданной темы Программы:  
 -Q- Программа будет использовать тему, установленную в ОС.  
 -QD будет использована «темная» тема.  
 -QL будет использована «светлая» тема.
- 3.3.5 -SL – знак «+» включает режим удаленного подключения (клиента): -SL+. Программа должна быть подключена к удаленному серверу для отображения входных данных и используемых параметров.
- 3.3.6 -X – знак «+» включает экспертный режим. В заголовке Основного окна Программы будет добавлен символ «\*», обозначающий работу в экспертном режиме.

Под ОС Windows используйте ярлык (или создайте его копию) на рабочем столе для задания параметров запуска.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Под ОС Linux (в том числе Astra Linux 1.6 SE) либо запустите ShahQ.sh из терминала с указанием параметров запуска (например: ./ShahQ.sh -Ymono -Q-), либо добавьте нужные опции в файл ShahQ.sh (в строчке "\$BASE\_DIR"/bin/ShahQ -Ymono -Q- "\$@").

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 4 ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ

### 4.1 Графический пользовательский интерфейс

Программа имеет графический пользовательский интерфейс, и все взаимодействия пользователя с программой происходит посредством него. Интерфейс построен на основе 2 рабочих зон: **Главное** окно (рис. 4.1.1.) и панель **Управление ДВФ** (рис. 4.1.2.).

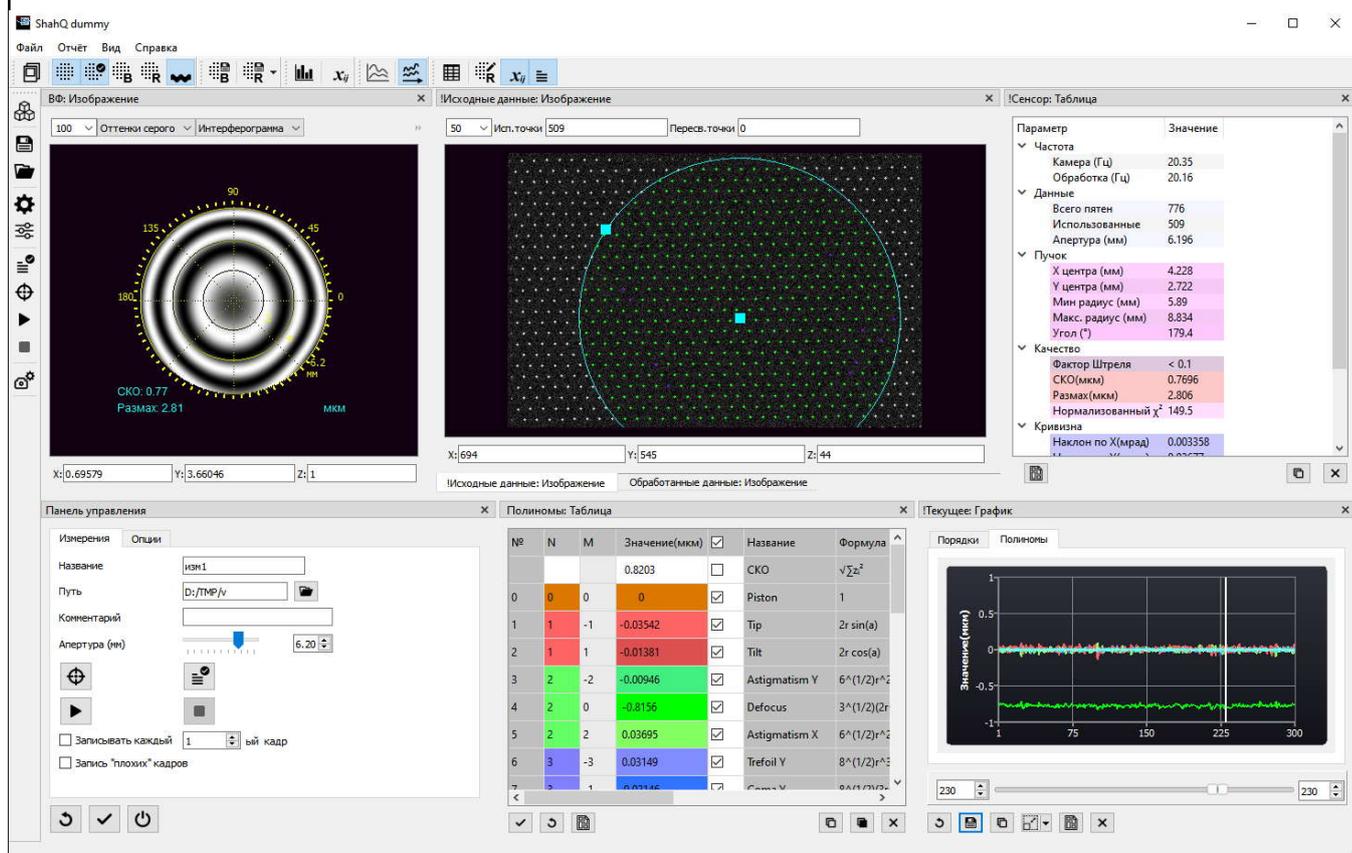


Рисунок 4.1.1 Главное окно программы

### 4.2. Главное окно программы.

**Главное** окно программы. содержит следующие элементы: меню, панели элементов управления, рабочая зона. Пользователь может произвольным образом перемещать элементы управления, настраивая внешний вид программы в соответствии с разрешением монитора, условиями работы и т. п. Заданная конфигурация элементов управления запоминается при выходе из программы и восстанавливается автоматически. Ниже приводится описание элементов управления **Главного** окна программы. В зависимости от конфигурации системы и текущих настроек часть элементов управления может быть недоступной или не отображаться.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата  
Инв. № дубл.  
Взам. инв. №  
Подп. и дата  
Инв. № подл.

## 4.2.1. Меню

### 4.2.1.1. Файл

#### 4.2.1.1.1. Данные

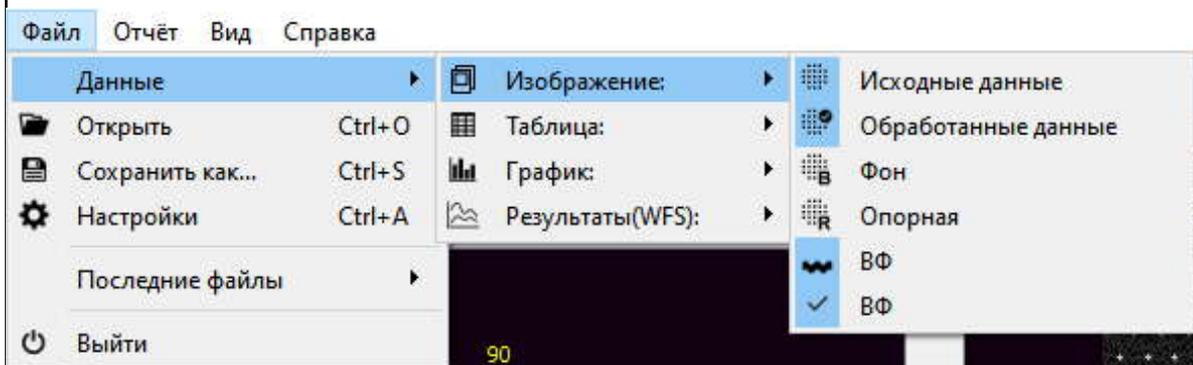


Рисунок 4.2.1.1. Меню **Файл**

Раздел меню **Данные** дает доступ ко всем представлениям данных, с которыми работает Программа. Данные могут быть как встроенными – всегда присутствуют в Программе, так и загруженные с диска. Встроенным данным присвоены иконки, которые видны как в меню, так и в панелях управления. Предусмотрены следующие представления данных (показаны соответствующие иконки):



изображения – обычно двумерные массивы данных, представленные в виде цветных изображений или изображений в оттенках серого.



таблицы – одномерные и двумерные массивы данных, представленные в виде текстовых таблиц или иерархического дерева.



графики – одномерные массивы данных, представленные как диаграммы (линейные или гистограммы).



результаты – измеренные данные ВФ в формате WFS (см. Приложение 2.), представленные в виде временных диаграмм.

Более подробно соответствующие данные будут описаны в разделах, посвященных соответствующим панелям управления.

#### 4.2.1.1.2. Открыть

Открывает диалог **Открыть**, позволяющий загрузить файлы трёх типов:

Графические файлы (bmp, png, tif, jpg).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Файлы измерений (wfs).

Файлы конфигурации Программы (cnf).

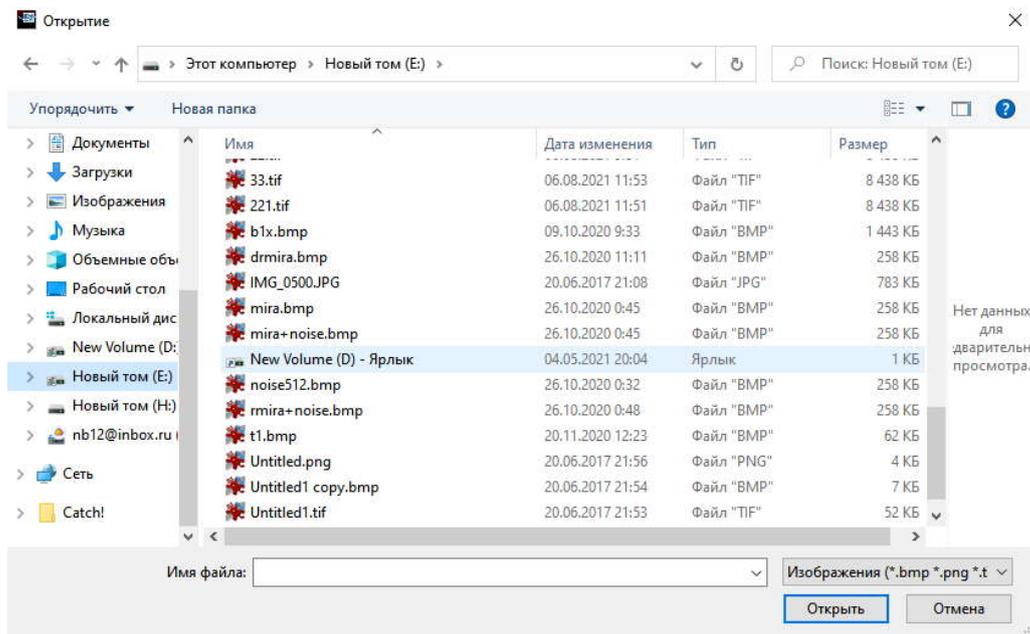


Рисунок 4.2.1.1.2.а Диалог **Открыть** под ОС Windows.

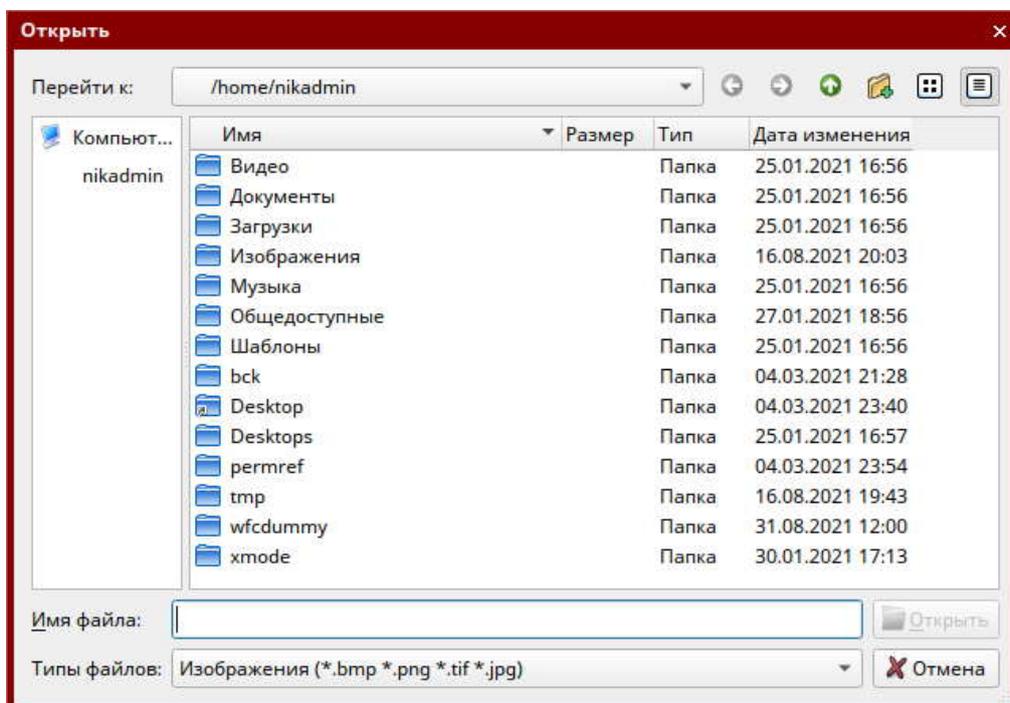


Рисунок 4.2.1.1.2.б Диалог **Открыть** под ОС Astra Linux «Смоленск».

### 4.2.1.1.3. Сохранить как...

Открывает диалог **Сохранить как...**, позволяющий сохранить файлы трёх типов:

Графические файлы (bmp, png, tif, jpg).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Файлы измерений (wfs).

Файлы конфигурации Программы (cnf).

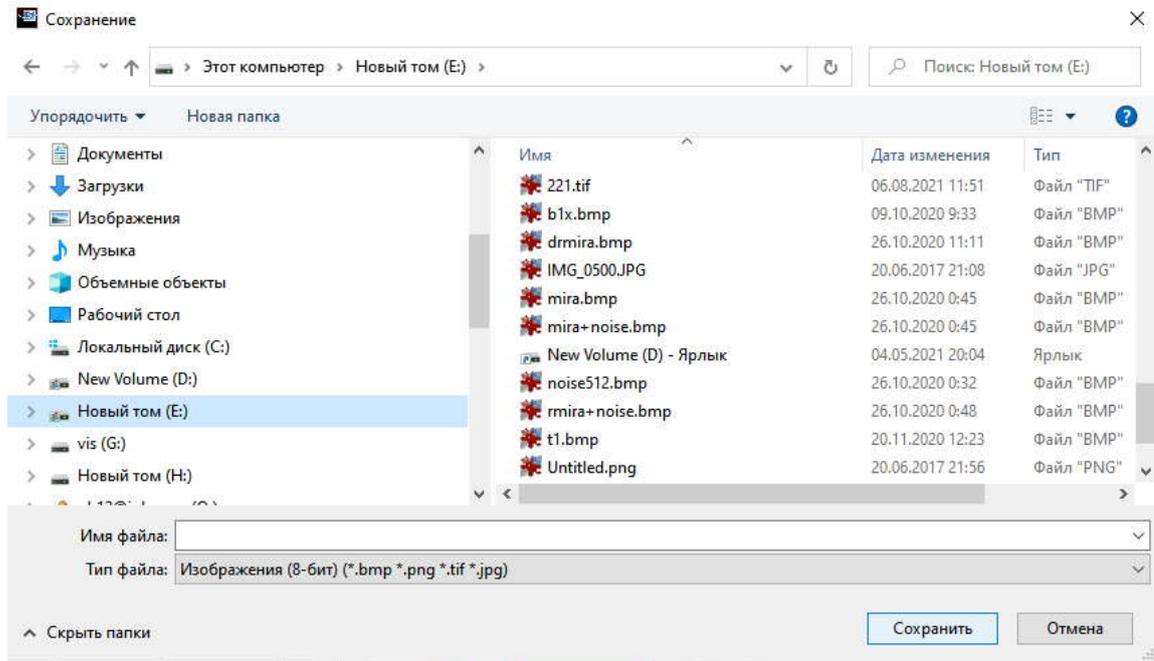


Рисунок 4.2.1.1.3.а Диалог **Сохранить как...** под ОС Windows.

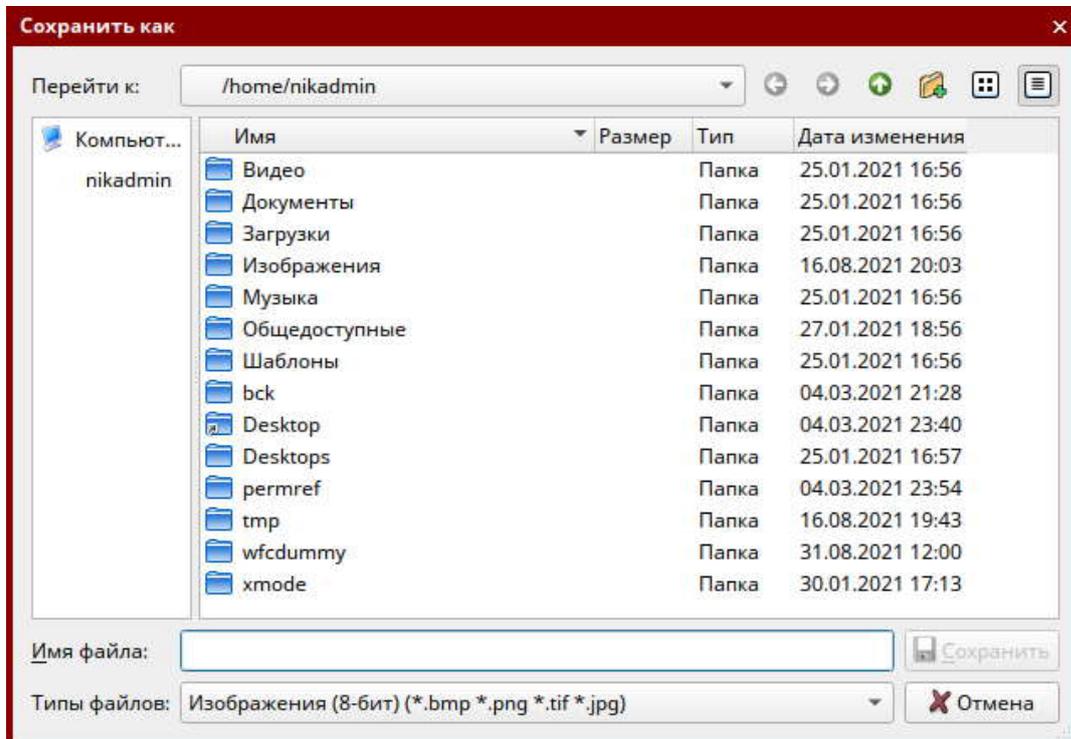


Рисунок 4.2.1.1.3.б Диалог **Сохранить как...** под ОС Astra Linux «Смоленск».

#### 4.2.1.1.4. Настройки

Открывает диалог **Настройки** (см. 4.3).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

#### 4.2.1.1.5. Последние файлы

Содержит список последних открытых\сохраненных файлов.

#### 4.2.1.1.6. Выйти

Закрывает Программу.

#### 4.2.1.2. Вид

Содержит следующие команды:

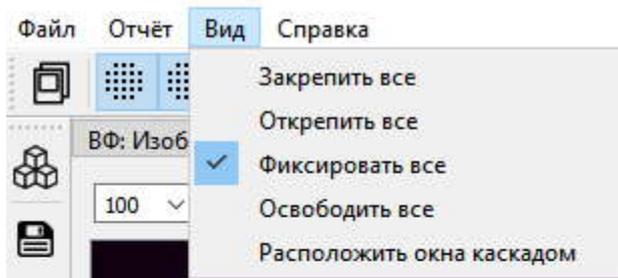


Рисунок 4.2.1.2. Меню Вид.

##### 4.2.1.2.1. Закрепить все

Размещает все окна внутри Основного окна Программы.

##### 4.2.1.2.2. Открепить все

Размещает все окна вне Основного окна Программы.

##### 4.2.1.2.3. Фиксировать все

Фиксирует расположение всех окон Программы.

##### 4.2.1.2.4. Освободить все

Позволяет менять расположение всех окон Программы.

##### 4.2.1.2.5. Расположить окна каскадом

Располагает окна над Основным окном каскадом.

#### 4.2.1.3. Справка

Содержит следующие команды:

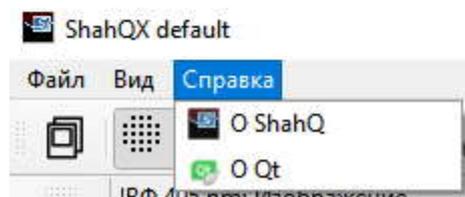


Рисунок 4.2.1.3. Меню Справка.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

#### 4.2.1.3.1. O ShahQ

Показывает диалог **O ShahQ**.

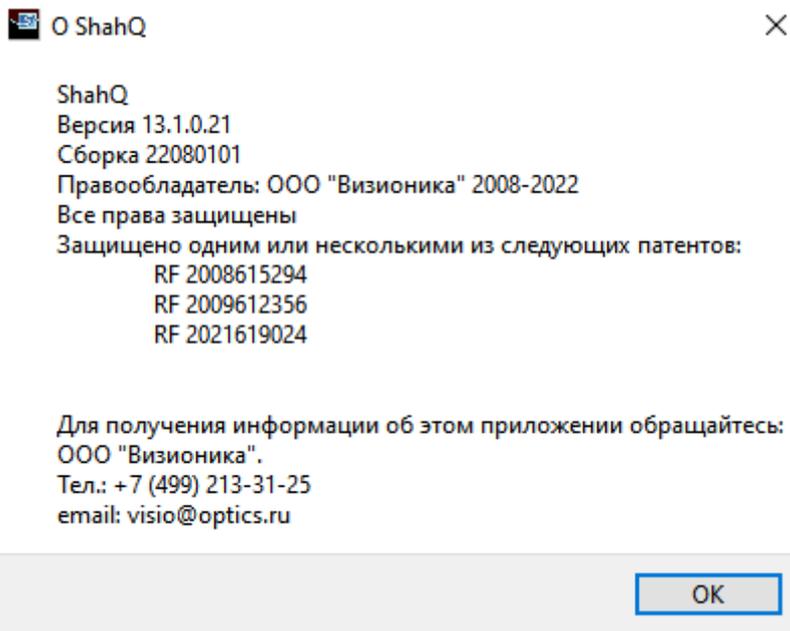


Рисунок 4.2.1.3.1. Диалог **O ShahQ**.

#### 4.2.1.3.2. O Qt

Показывает диалог **O Qt**.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

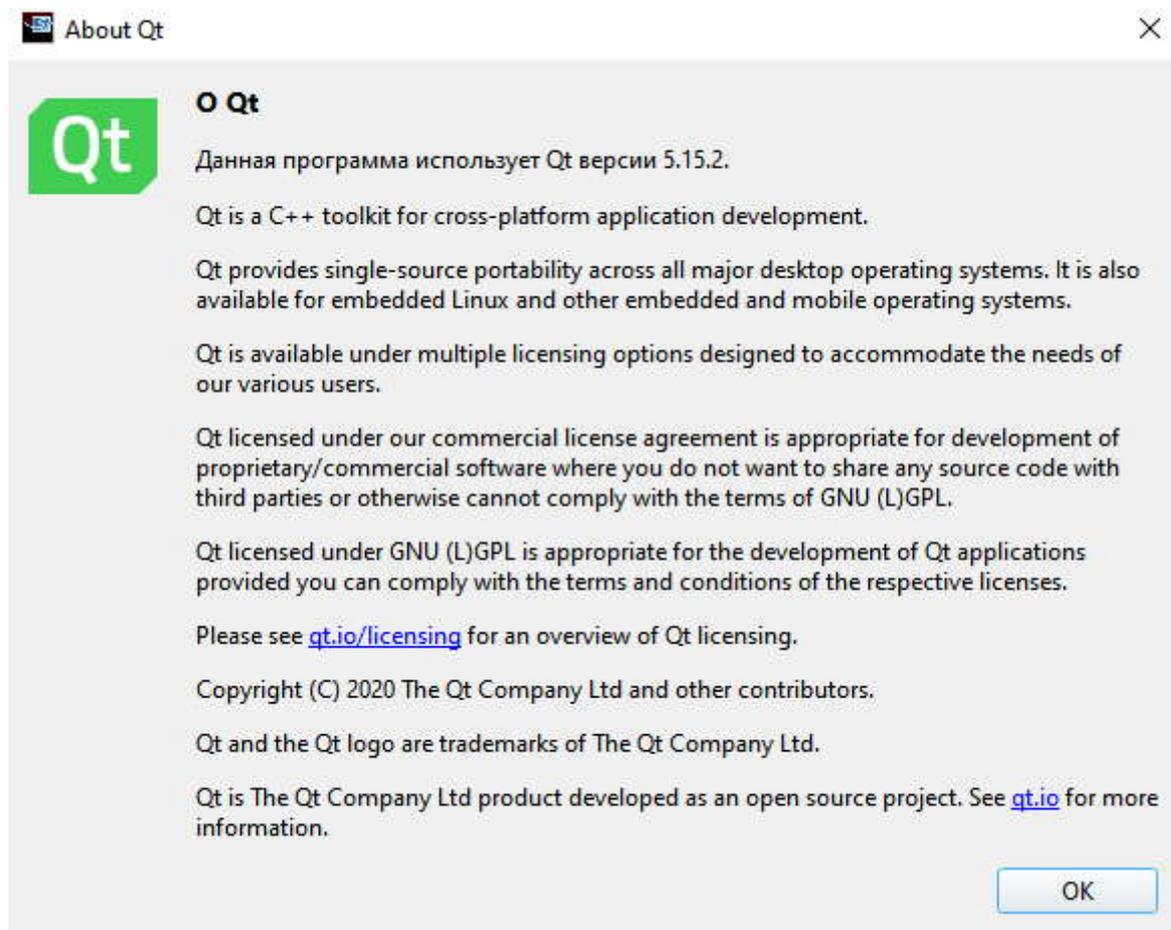


Рисунок 4.2.1.3.2. Диалог **О Qt**.

#### 4.2.1.4. Отчёт

Содержит следующие команды:

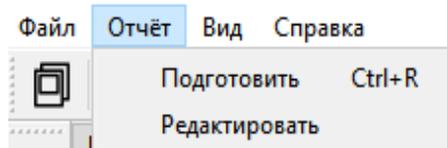


Рисунок 4.2.1.4. Меню **Отчёт**.

##### 4.2.1.4.1. Подготовить.

Показывает диалог **Отчёт**. (см.4.12.1)

##### 4.2.1.4.2. Редактировать.

Показывает диалог редактора отчёта. (см.4.12.3)

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 4.2.2. Панели элементов управления.

### 4.2.2.1. Панель Инструменты



Рисунок 4.2.2.1.1. Панель **Инструменты**

Панель **Инструменты** содержит следующие кнопки:



открывает выпадающее меню инструментов:

- Настройки Ctrl+A
- Открыть Ctrl+O
- Сохранить как... Ctrl+S
- Панель управления
- Камера сенсора F9
- Настройки ВФК Ctrl+M
- Корректор ВФ F7
- Кадр
- Старт
- Стоп
- Обратная связь

Рисунок 4.2.1.1.2. Выпадающее меню панели **Инструменты**



Открывает панель **Настройки** (см.4.3).



Открывает диалог **Открыть** (см. 4.2.1.1.2.).



Открывает диалог **Сохранить как...** (см. 4.2.1.1.3.).



Открывает **Панель управления** (см. 4.4).



Обрабатывает выбранный кадр (см. 4.4).



Получает одиночный кадр с камеры ДВФ.



Запускает камеру ДВФ в непрерывном режиме.



Останавливает камеру ДВФ.



Замыкает\размыкает режим ОС.



Обнуляет сигнал управления КВФ.



Открывает панель настроек камеры ДВФ (быстрая клавиша Ctrl-F9) (см. 4.13).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

-  Открывает панель настроек каналов КВФ (быстрая клавиша Ctrl-M) см 5.3.1.
-  Открывает **Панель КВФ**.
-  Открывает панель измерения ФО КВФ (см. 4.11).

#### 4.2.2.2. Панель Изображения



Рисунок 4.2.2.2.1. Панель **Изображения**

Панель **Изображения** содержит следующие кнопки:



открывает выпадающее меню инструментов:

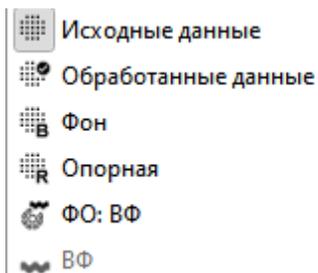


Рисунок 4.2.2.2.2. Выпадающее меню панели **Изображения**

-  открывает окно исходного изображения с камеры ДВФ.
-  открывает окно обработанного изображения с камеры ДВФ.
-  открывает окно фоновое изображения.
-  открывает окно опорного изображения.
-  открывает окно представления ФО как VF.
-  открывает окно VF.

#### 4.2.2.3. Панель Графики



Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

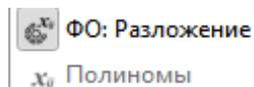
Копировал

### Рисунок 4.2.2.3.1. Панель **Графики**

Панель **Графики** содержит следующие кнопки:



открывает выпадающее меню инструментов:



### Рисунок 4.2.2.3.2. Выпадающее меню панели **Графики**



открывает гистограмму разложения ВФ по ФО КВФ.



открывает гистограмму разложения ВФ по выбранному набору полиномов.

## 4.2.2.4. Панель **Таблицы**

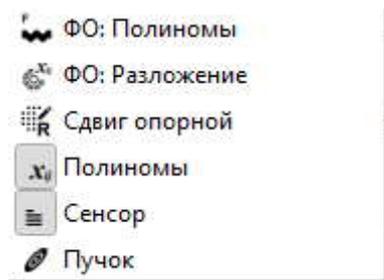


### Рисунок 4.2.2.4.1. Панель **Таблицы**

Панель **Таблицы** содержит следующие кнопки:



открывает выпадающее меню инструментов:



### Рисунок 4.2.2.4.2. Выпадающее меню панели **Таблицы**



открывает таблицу разложения ФО по выбранному набору полиномов



открывает таблицу разложения ВФ по ФО КВФ.



открывает таблицу сдвигов опорного изображения.



открывает таблицу разложения ВФ по выбранному набору полиномов.



открывает иерархическое дерево данных состояния ДВФ.



открывает таблицу Пучок (см. 4.8.5.)

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.2.2.5. Панель Результат



Рисунок 4.2.2.5.1. Панель **Результат**

Панель **Результат** содержит следующие кнопки:



открывает выпадающее меню инструментов:

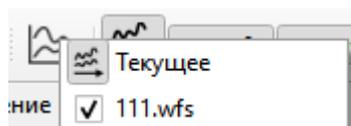


Рисунок 4.2.2.5.2. Выпадающее меню панели **Результат**



открывает окно временной диаграммы текущих измерений.

xxx.wfs открывает окно временной диаграммы загруженных данных

### 4.2.2.6. Панель Фона\Опорного изображения

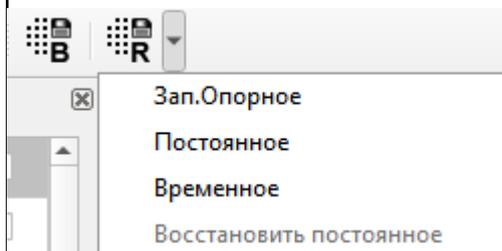


Рисунок 4.2.2.6.1. Панель **Фона\Опорного изображения**

Панель **Результат** содержит следующие кнопки:



записать фоновое изображение (становится доступным, если активно - выбрано окно с данными, совместимыми с входными данными ДВФ).



записать опорное изображение (становится доступным, если активно - выбрано окно с данными, совместимыми с входными данными ДВФ). При нажатии на кнопку открывается диалог запроса типа опорного изображения:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

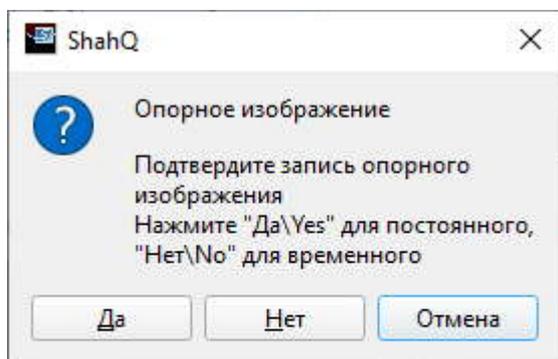


Рисунок 4.2.2.6.2. Диалог выбора типа опорного изображения.

Выберите тип опорного изображения: постоянное – загружается при старте Программы, временное – остается актуальным до конца сеанса работы.

Если на изображении при поиске опорных пятен не будет найдено ни одно пятно, будет открыт диалог:

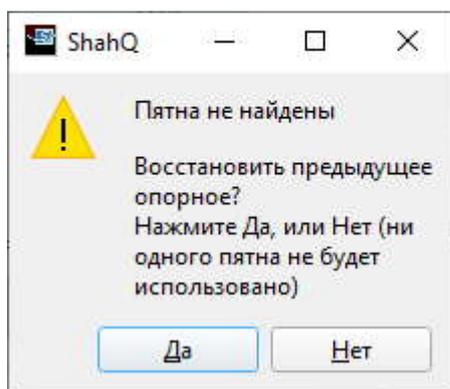


Рисунок 4.2.2.6.3. Диалог предупреждения об отсутствии пятен на опорном изображении.

Восстановите предыдущее изображение или продолжите работу без опорных пятен – обсчет гартманнограмм станет невозможным.

При нажатии на боковую секцию кнопки открывается меню, содержащее следующие варианты:

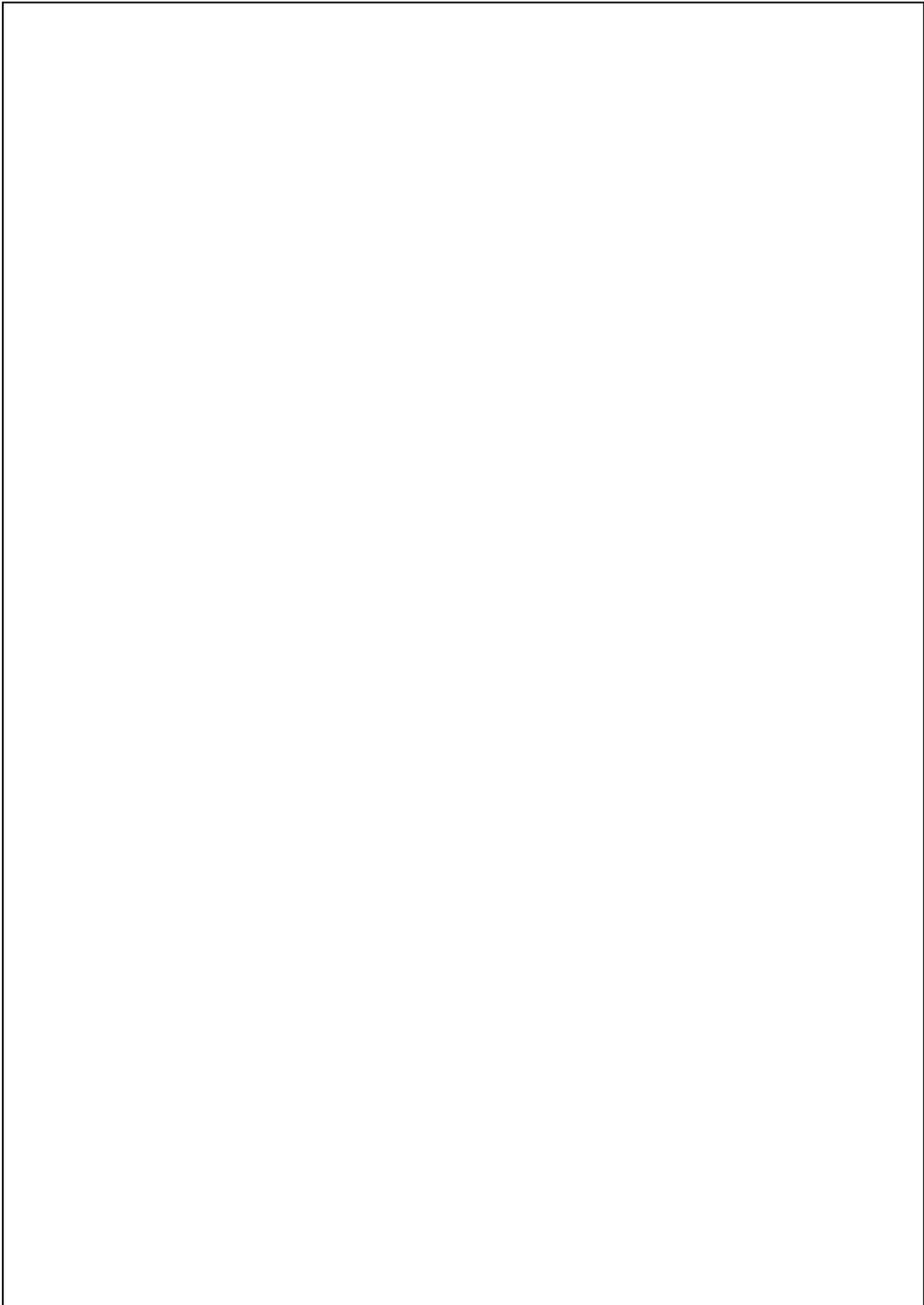
- Зап.Опорное** действует аналогично нажатию на кнопку;
- Постоянное** записывает постоянное опорное изображение;
- Временное** записывает временное опорное изображение;
- Восстановить постоянное** восстанавливает последнее постоянное опорное изображение.

Далее идет описание окон управления и данных.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.3. Панель Настройки

Панель **Настройки** содержит следующие кнопки:

**По умолчанию** показывает значения «по умолчанию» данной закладки. Не меняет актуальные значения.

**ОК** применяет внесенные изменения значений и закрывает панель Настройки.

**Отмена** закрывает панель Настройки не применяя внесенные изменения (кроме параметров, изменения которых применяются непосредственно в момент изменения).

**Применить** применяет внесенные изменения значений.

Панель **Настройки** содержит следующие закладки:

#### 4.3.1. Закладка Общее

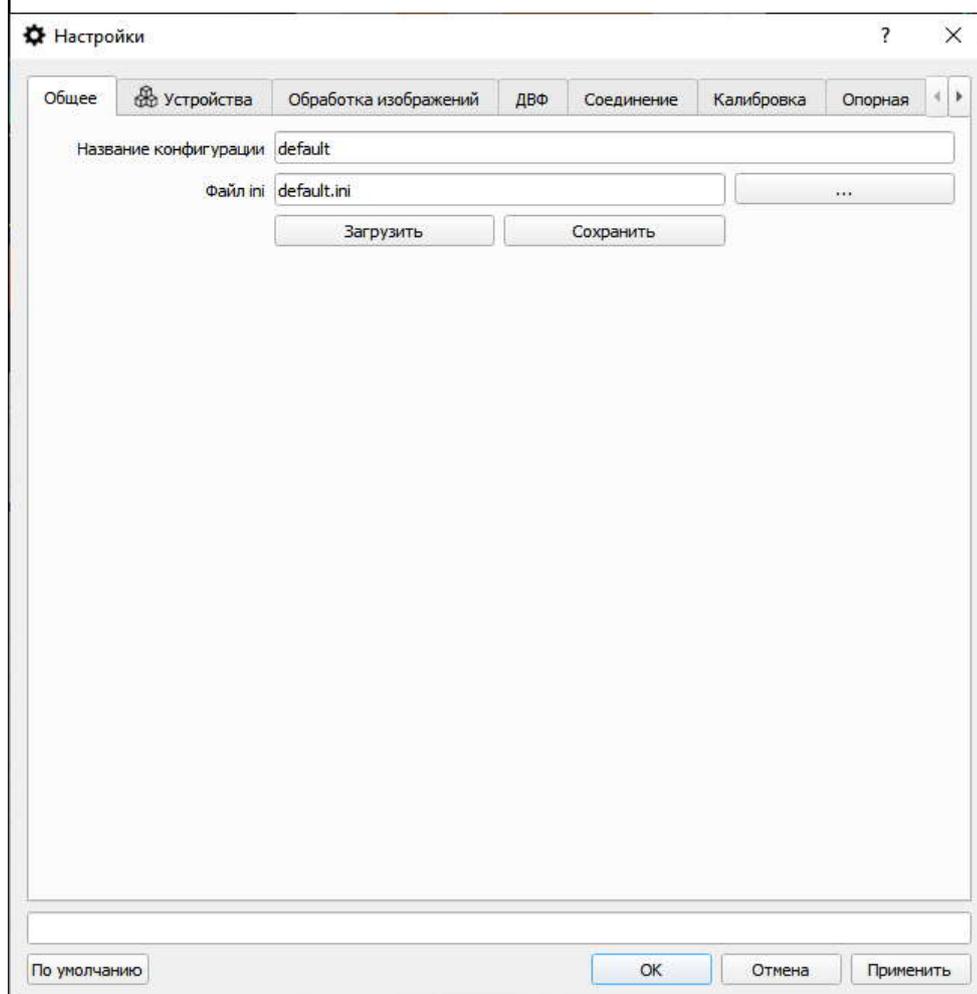


Рисунок 4.3.1. Панель **Настройки**, закладка **Общее**

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Название конфигурации** показывает название текущей конфигурации (расположение и размер окон, опции отображения и настройки устройств (см. 4.3.2.)), создает

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

конфигурационный файл с именем «Название конфигурации.cnf», расположенный в той же директории, что и исполнимый файл Программы. Название конфигурации задается опцией «-Y» в командной строке при запуске Программы (см. 3.3.1.). Если изменить это поле, создается другой файл конфигурации, который будет содержать текущие настройки конфигурации. Чтобы затем его использовать, запустите Программу с соответствующей опцией: «-YНазвание конфигурации». Пробелы не допустимы. Например: если запустить программу с опцией - Yconfig1 будет загружен файл config1.cnf.

**Файл ini** задает путь к файлу настроек, содержащему параметры программы, влияющие на вычисления и сохранение данных. Таким образом можно создать несколько вариантов конфигурации программы с одними и теми же настройками.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.3.2. Закладка Устройства

Закладка Устройства предназначена для конфигурации подключения внешних модулей. Закладка содержит несколько разделов.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Показывать сообщения об ошибках на старте** пометьте для вывода сообщений об ошибках загрузки модулей на старте Программы.

#### 4.3.2.1. Раздел Модуль ДВФ

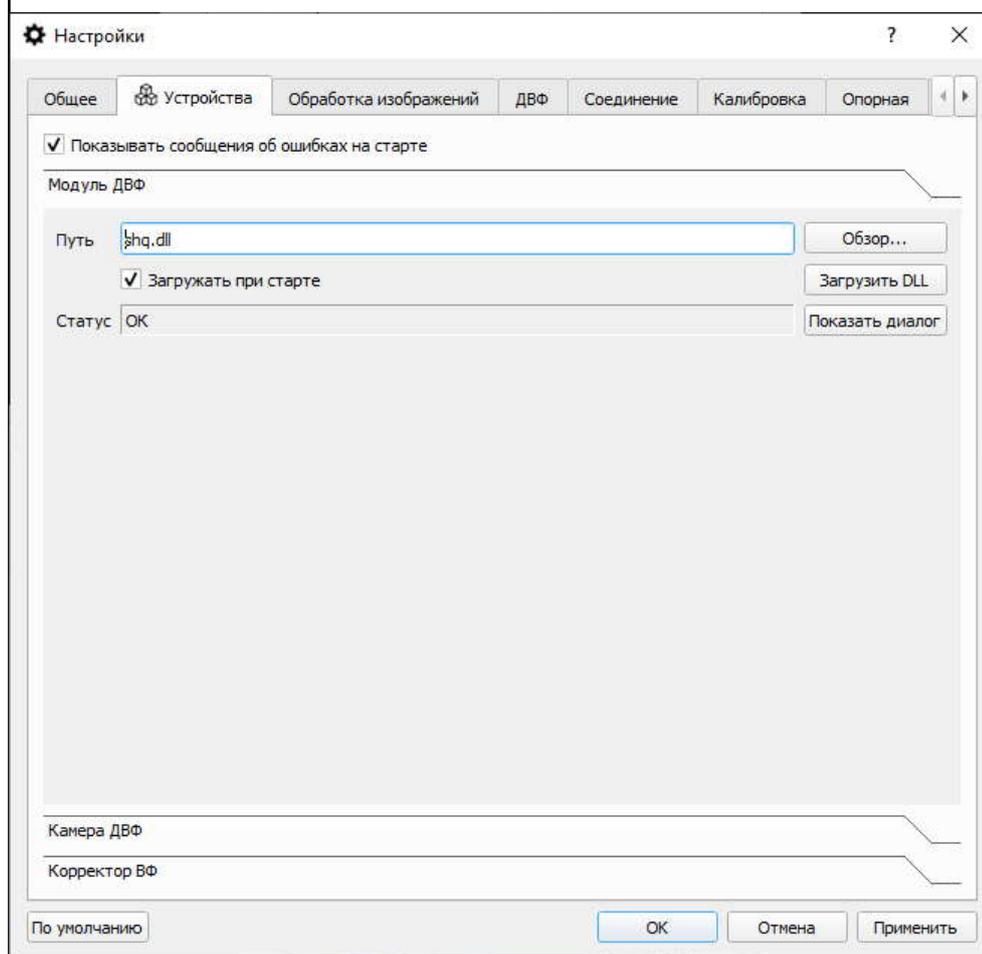


Рисунок 4.3.2.1. Панель **Настройки**, закладка **Устройства**, раздел **Модуль ДВФ**.

Данный раздел подключает динамическую библиотеку (DLL) **модуля ДВФ**, которая отвечает за обработку специфических изображений, получаемых с ДВФ (например, работающего по принципу Шака-Гартманна, см. 6.1) и вычисление ВФ.

Раздел содержит следующие элементы управления:

**Путь** задает путь к библиотеке модуля.

**Обзор...** нажмите для просмотра файловой системы.

**Загрузить DLL** нажмите для загрузки библиотеки модуля.

**Загружать при старте** если помечен, библиотека будет загружаться при старте Программы.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Статус** показывает состояние загрузки модуля (ОК – штатное состояние, иначе – код и описание ошибки).

**Показать диалог** открывает диалог настроек модуля, см. раздел 5.1.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.3.2.2. Раздел Камера ДВФ

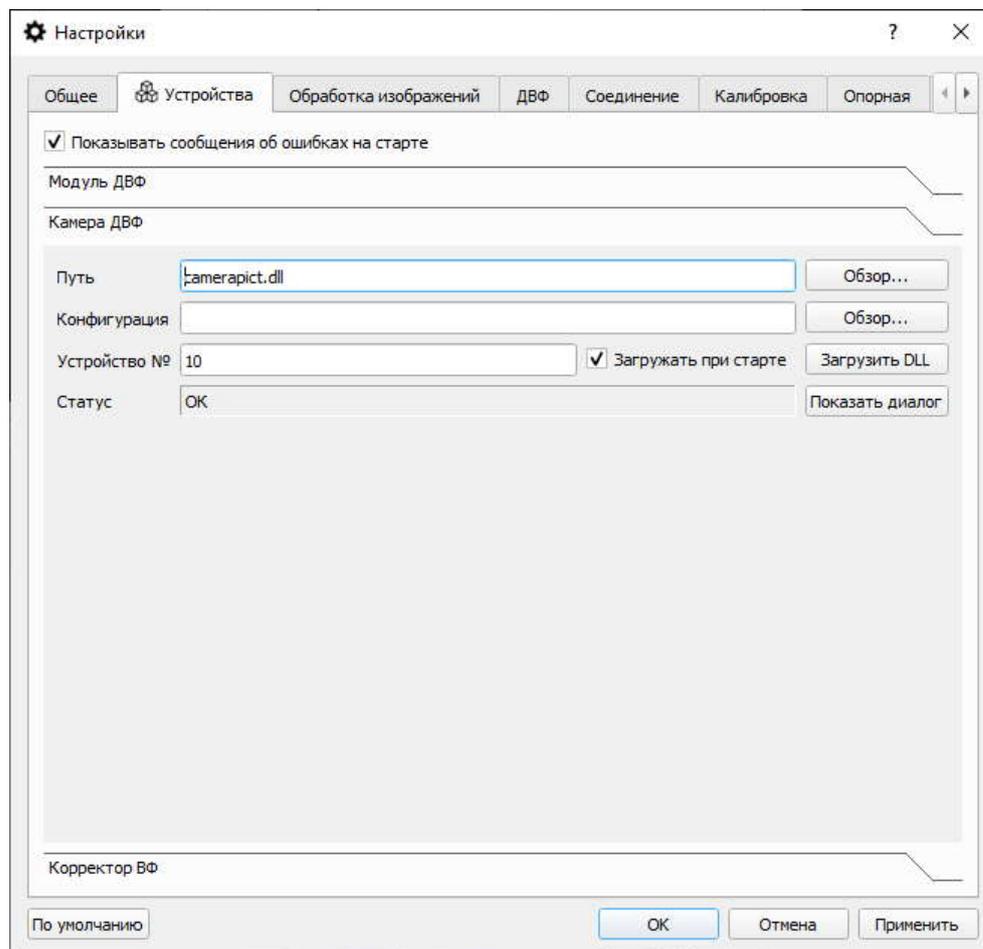


Рисунок 4.3.2.2.1 Панель **Настройки**, закладка **Устройства**, раздел **Камера ДВФ**.

Данный раздел подключает динамическую библиотеку (DLL) **камеры ДВФ**, которая отвечает за получение изображений с ДВФ.

Раздел содержит следующие элементы управления:

**Путь** задает путь к библиотеке модуля.

**Обзор...** нажмите для просмотра файловой системы.

**Конфигурация** строка конфигурации камеры – может быть пустой, либо содержать путь к файлу конфигурации камеры или дополнительную информацию.

**Устройство №** введите номер устройства (камеры). Определяется производителем.

**Загрузить DLL** нажмите для загрузки библиотеки модуля.

**Загружать при старте** если помечен, библиотека будет загружаться при старте Программы. Если при загрузке модуля возникнет ошибка, будет показано окно предупреждения:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

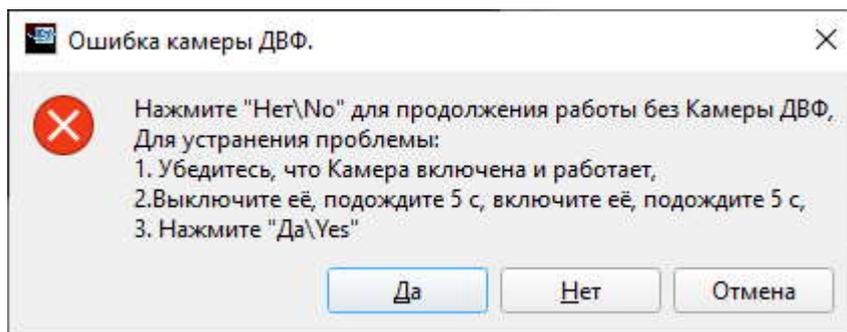


Рисунок 4.3.2.2.2. Окно сообщения об ошибке загрузки камеры МИ ДВФ.

**Статус** показывает состояние загрузки модуля (ОК – штатное состояние, иначе – код и описание ошибки).

**Показать диалог** открывает диалог настроек модуля, см. раздел 5.2.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.3.2.3. Раздел Корректор ДВФ

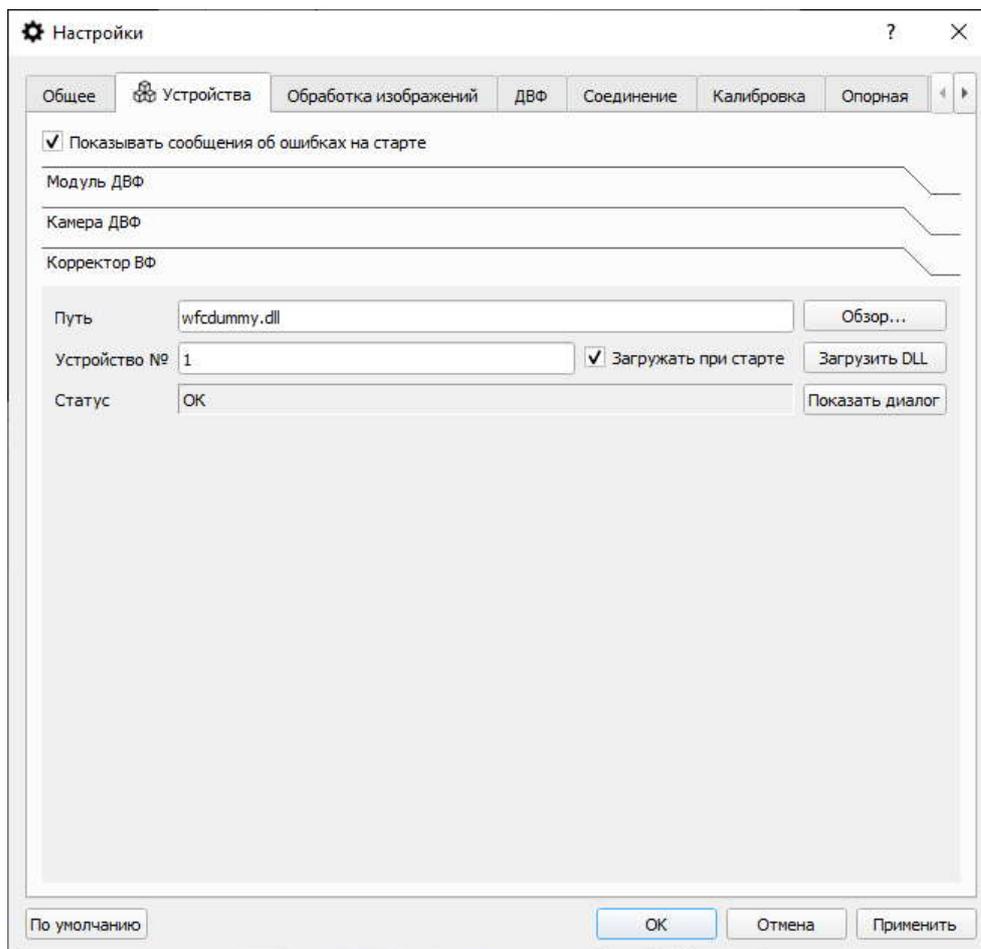


Рисунок 4.3.2.3.1. Панель **Настройки**, закладка **Устройства**, раздел **Корректор ДВФ**.

Данный раздел подключает динамическую библиотеку (DLL) **корректора ДВФ**, которая отвечает за взаимодействие с устройством КВФ.

Раздел содержит следующие элементы управления:

**Путь** задает путь к библиотеке модуля.

**Обзор...** нажмите для просмотра файловой системы.

**Устройство №** введите номер устройства (камеры). Определяется производителем.

**Загрузить DLL** нажмите для загрузки библиотеки модуля.

**Загружать при старте** если помечен, библиотека будет загружаться при старте Программы. Если при загрузке модуля возникнет ошибка, будет показано окно предупреждения:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

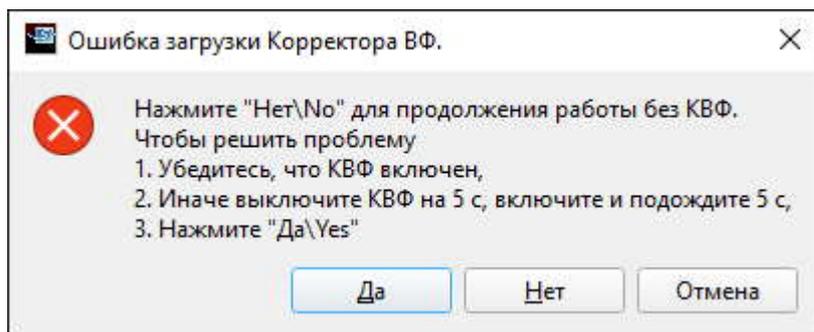


Рисунок 4.3.2.3.2. Окно сообщения об ошибке загрузки КВФ.

**Статус** показывает состояние загрузки модуля (ОК – штатное состояние, иначе – код и описание ошибки).

**Показать диалог** открывает диалог настроек модуля, см. раздел 5.3.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.3.3. Закладка Обработка изображений

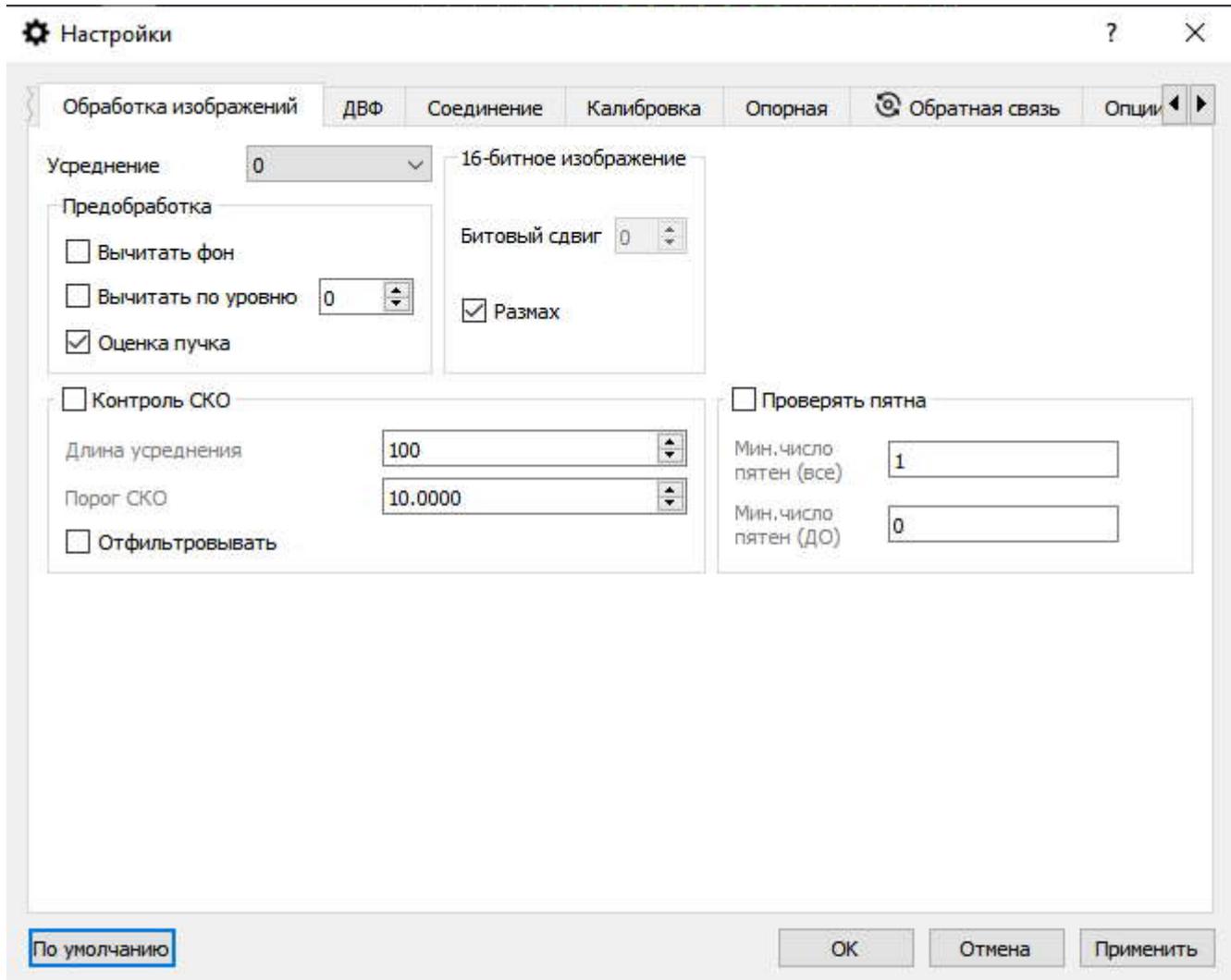


Рисунок 4.3.3. Панель **Настройки**, закладка **Обработка изображений**

Все вычисления Программы выполняются с использованием обработанного изображения (которое может совпадать с исходным).

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Усреднение** задает число кадров усреднения по методу скользящего среднего входного изображения с камеры ДВФ (0 – нет усреднения).

**Предобработка:**

**Вычитать фон** перед усреднением вычитать поточечно фон (изображение, записанное при нажатии кнопки **Запись фонового изображения**, см. 4.2.2.6). Если текущее значение точки меньше записанного в фоне, результат обнуляется.

**Вычитать по уровню** перед усреднением вычитать поточечно заданное значение уровня. Если текущее значение в точке меньше уровня, результат обнуляется.

**Оценка пучка** в случае настройки камеры ДВФ на фокальную точку, вычисляет параметры пучка.

**16-битное изображение** позволяет задать режим отображения на дисплее изображений,

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

глубина битности которого превышает 8. Позволяет выбрать либо автоматическое масштабирование (**Размах**), либо задать **битовый сдвиг** 8-битной маски (0 – выводятся младшие 8 бит (с 0 по 7-ой), 1 – выводятся с 1 по 8-ой и т.п.).

**Контроль СКО** включает режим фильтрации входных данных по вариации СКО.

**Длина усреднения** задает длину выборки для анализа СКО.

**Порог СКО** задает порог (в отн. ед.), при превышении которого кадр может быть отфильтрован.

**Отфильтровывать** пометьте для фильтрации кадров. По заданной длине выборки вычисляется среднее значение СКО ВФ (сумма квадратов амплитуд полиномов разложения)  $\mu$  и СКО этой величины (СКО от СКО ВФ)  $\sigma$ . Если текущее значение СКО отличается от  $\mu$  на величину, превосходящую  $\sigma$  умноженную на Порог СКО, данные не будут использованы в дальнейших вычислениях. Если в **Панели управления** помечена **Запись «плохих» кадров**, данный кадр будет записан (см. 4.4.1).

**Проверять пятна** включает режим контроля числа пятен кадра. Если минимальное число пятен в кадре или в дополнительной области будет меньше заданного, данные не будут использованы в дальнейших вычислениях. Если в **Панели управления** помечена **Запись «плохих» кадров**, данный кадр будет записан (см. 4.4.1).

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.3.4. Закладка ДВФ

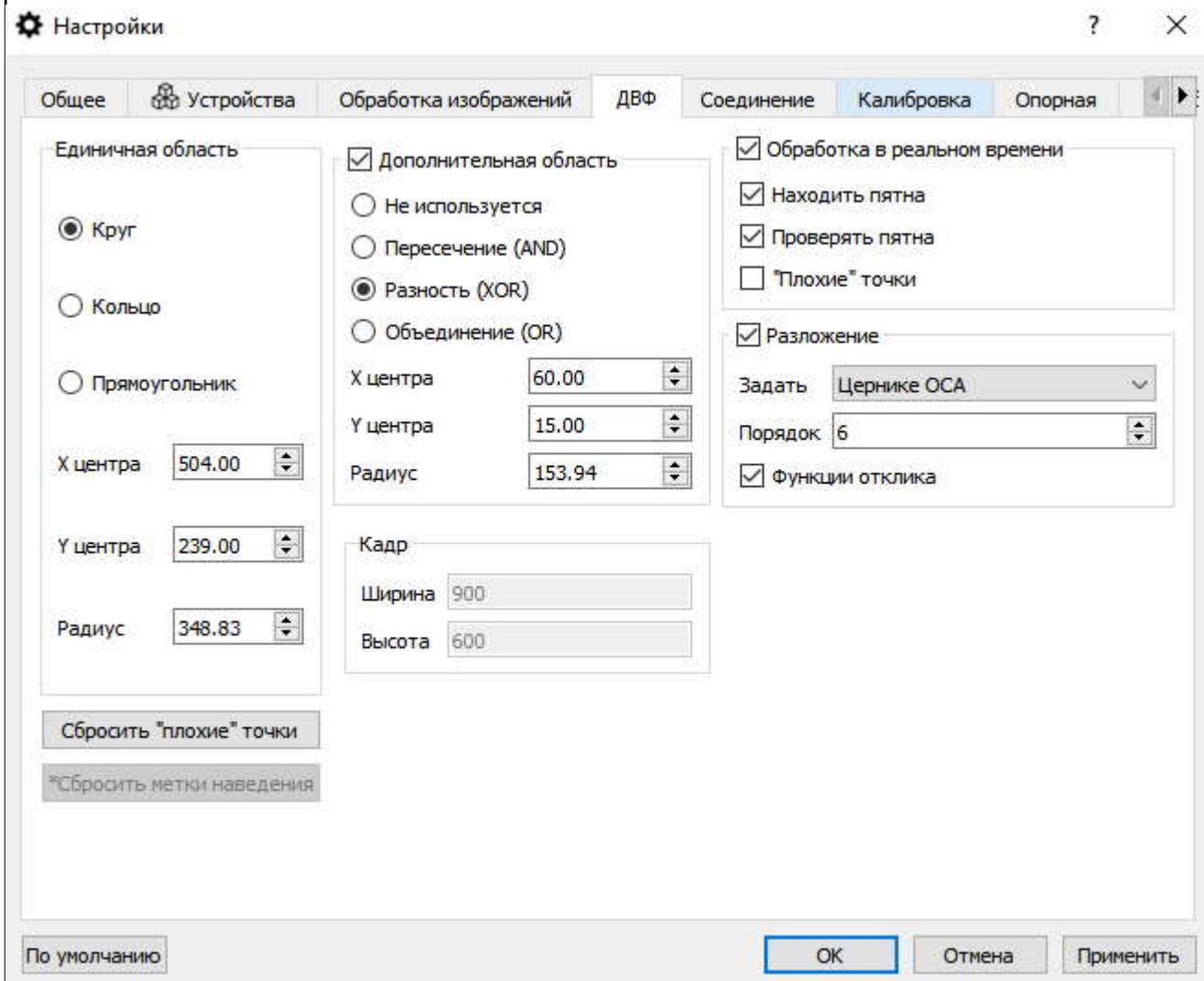


Рисунок 4.3.4. Панель **Настройки**, закладка **ДВФ**

Панель позволяет настроить параметры ДВФ, работающего по принципу Шака-Гартманна.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Единичная область:** задает параметры единичной области (ЕО) разложения ВФ по полиномам: тип и геометрию. Изменение параметров ЕО применяется непосредственно.

**Круг** ЕО в виде круга – соответствует наборам полиномов Цернике.

**Кольцо** ЕО в виде кольца – соответствует наборам полиномов Цернике в кольце – при этом выборе центр дополнительной области (ДО) автоматически совмещается с центром единичного круга и выбирается режим ДО **Разность**.

**Прямоугольник** ЕО в виде прямоугольника – соответствует наборам полиномов Лежандра – при этом выборе поле **Радиус** исчезает и появляются поля **Ширина**, **Высота** и **Угол**.

**X Y центра** задают центр ЕО (в пикселах).

**Радиус** задает радиус ЕО (в пикселах).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Дополнительная область** задает параметры дополнительной области (ДО): режим и геометрию. Изменение параметров ДО применяется непосредственно.

- Не используется** ДО не используется.
- Пересечение (AND)** используется область пересечения ЕО и ДО.
- Разность (XOR)** используется разностная область ЕО и ДО
- Объединение (OR)** используется область объединения ЕО и ДО
- X/Y центра** задают центр ДО (в пикселах).
- Радиус** задает радиус ЕО (в пикселах).

**Кадр** задает размеры входного изображения. В случае загрузки модуля камеры ДВФ (или референсного изображения) размеры определяются настройками камеры. В противном случае пользователь может задать размеры кадра самостоятельно.

- Ширина** задает ширину кадра (в пикселах).
- Высота** задает высоту кадра (в пикселах).

**Обработка в реальном времени** задает параметры автоматической обработки кадров камеры ДВФ:

- Находить пятна** пометьте для поиска положения пятен.
- Проверять пятна Фильтрации.** пометьте для фильтрации пятен в соответствии с параметрами Фильтрации.
- «Плохие» пятна** исключать пятна, помеченные как «плохие». См. 4.7.1.

- Сбросить «плохие» пятна** сбросить все «плохие» пятна. См. 4.7.1.
- Сбросить метки наведения** сбросить все метки наведения. См. 4.7.1.

**Разложение** задает параметры функций разложения ВФ.

**Набор** задает набор полиномов разложения. Возможны полиномы Цернике (стандарт OSA, набор из книги Борн и Вольф «Оптика», набор «фриндж», см. Приложение 3.), полиномы Цернике в кольце, полиномы Лежандра.

- Порядок** задает порядок полиномов.
- Функции отклика** пометьте для разложения ВФ по ФО КВФ.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.3.5. Закладка Соединение

Программа может работать в режиме клиента (см. 3.3.5) и сервера. Ниже описан режим сервера. Протокол удаленного управления описан в Приложении 1.

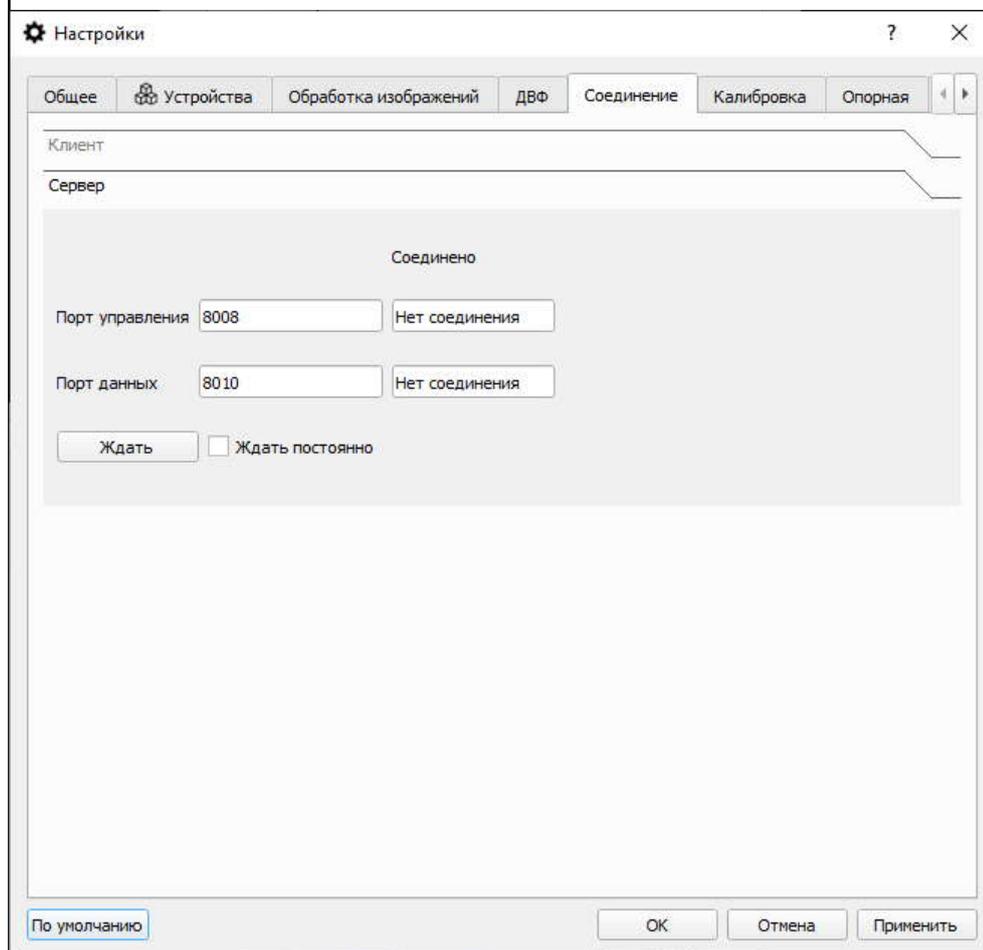


Рисунок 4.3.5. Панель **Настройки**, закладка **Соединение**

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Порт управления** задает порт удаленного управления Программой

**Порт данных** задает порт передачи изображений.

**Ждать** нажмите\ отожмите для ожидания\прерывания подключения.

**Ждать постоянно** пометьте для автоматического перехода в режим ожидания подключения при старте программы.

**Соединено** отображает количество внешних подключений.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.3.6. Закладка Калибровка

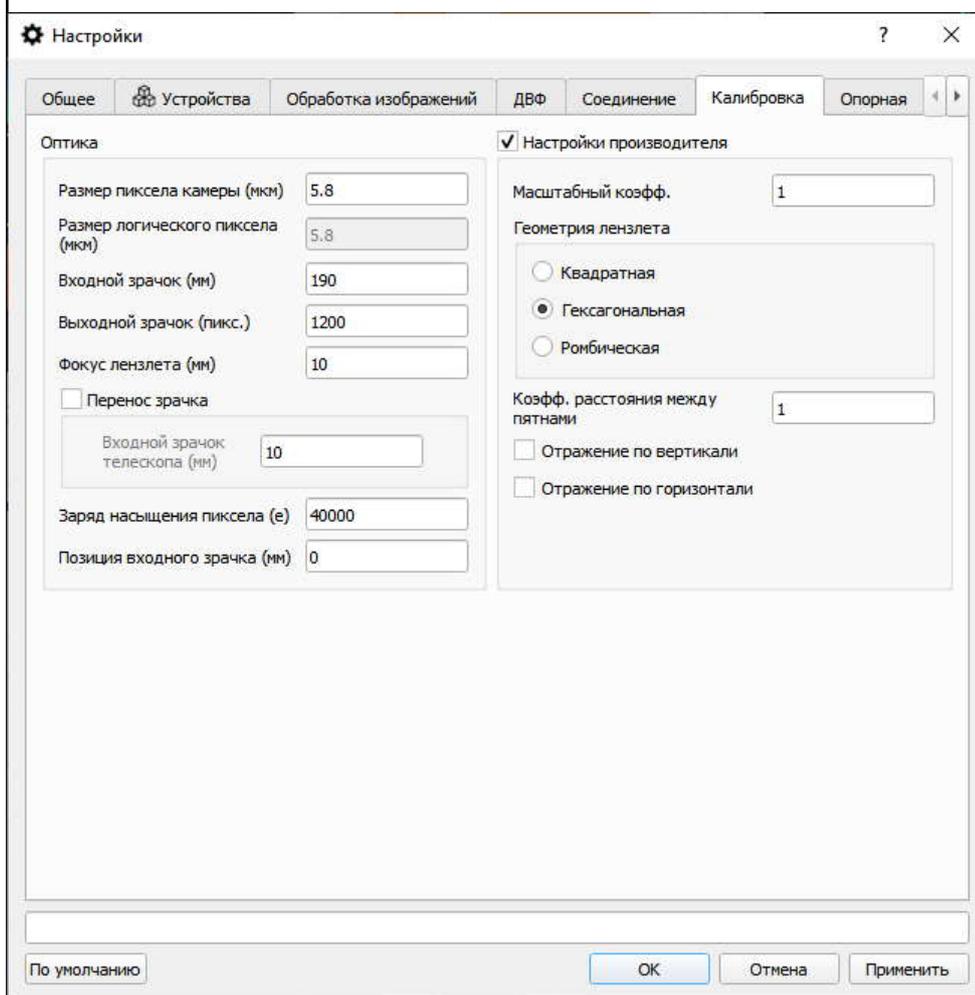


Рисунок 4.3.6. Панель **Настройки**, закладка **Калибровка**

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Оптика** задает оптико-электронные параметры ДВФ:

**Размер пиксела камеры** размер физического пиксела камеры ДВФ.

**Размер логического пиксела** размер физического пиксела камеры умноженный на биннинг (объединение физических пикселов камеры в один внутри камеры).

**Входной зрачок** диаметр входного зрачка ДВФ.

**Выходной зрачок** размер проекции входного зрачка на камере ДВФ.

**Фокус линзлета** фокальная длина линзового раstra.

**Перенос зрачка** пометьте для системы с переносом зрачка внутри ДВФ.

**Входной зрачок телескопа** диаметр переднего зрачка телескопа переноса.

**Заряд насыщения пиксела** максимальная емкость пиксела камеры (в числе электронов).

**Позиция входного зрачка** вынос переднего зрачка ДВФ (задается для справки и удобства юстировки, не влияет на вычисления).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Настройки производителя** задаются при калибровке ДВФ. **Не рекомендуется  
менять без консультации с производителем ПО. Доступны в экспертном режиме**

**Масштабный коэффициент** калибровочный коэффициент.

**Геометрия лэнзлета** может быть квадратная, гексагональная,  
ромбическая.

**Коэффициент расстояния между пятнами** поправка на расстояния  
между пятнами – влияет на динамический диапазон ДВФ.

**Отражение по вертикали\горизонтали** используется для компенсации  
переворотов и отражений в оптической схеме ДВФ.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.3.7. Закладка Опорное

Задаёт поправки к референсному (опорному) изображению, а также параметры поиска центра пятен. Поправки могут быть заданы как радиус опорной сферы, относительно которой было записано опорное изображение, так и как индивидуальные коэффициенты полиномов разложения (набор полиномов должен совпадать с заданным в 4.3.4).

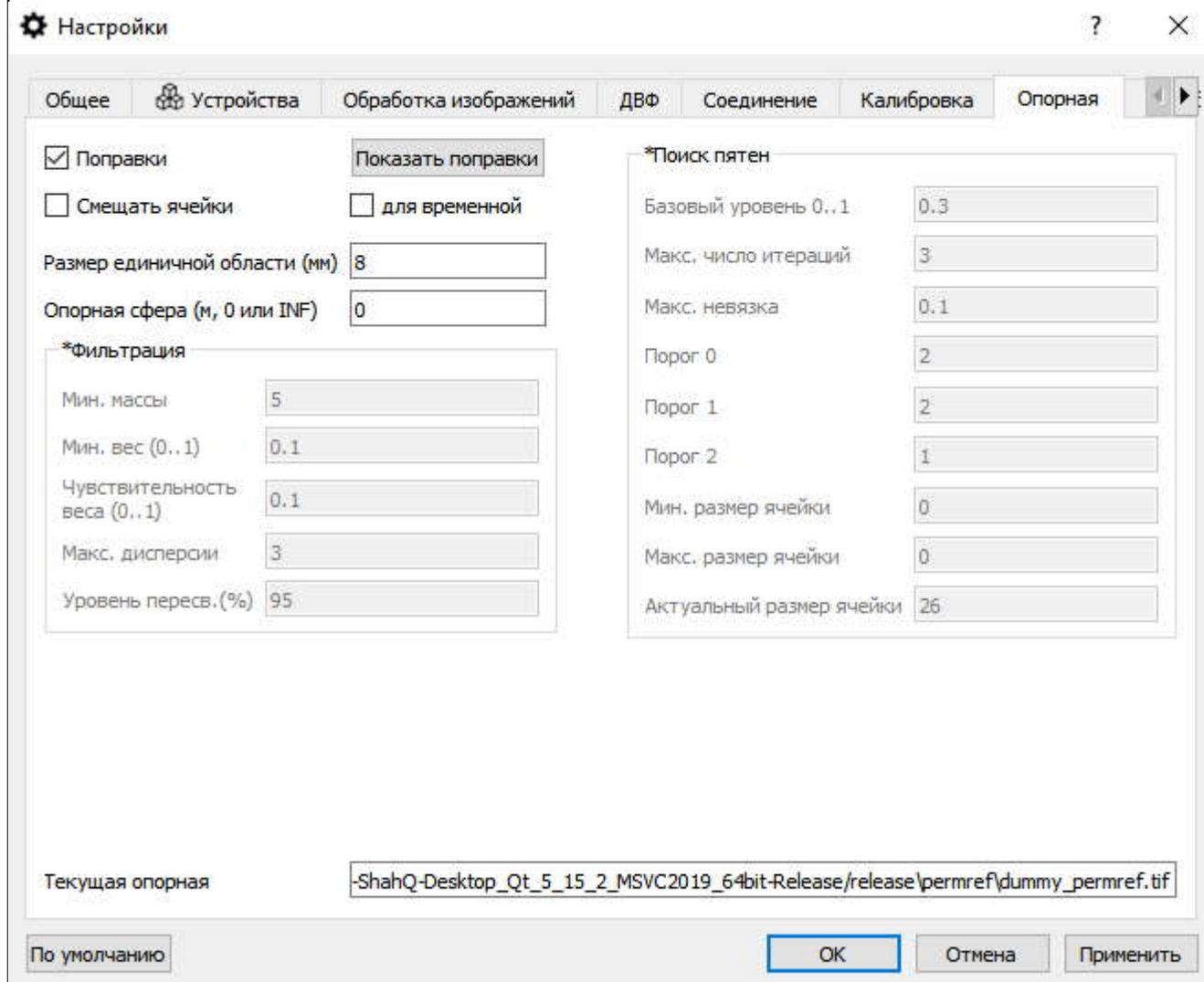


Рисунок 4.3.7. Панель **Настройки**, закладка **Опорное**

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Поправки** пометьте для использования поправок в виде коэффициентов полиномов.

**Для временного** использовать поправки также для временного опорного изображения.

**Показать поправки** нажмите, чтобы открыть таблицу поправок как таблицу полиномов (см.4.8.4).

**Размер единичной области** задает радиус ЕО, на которой заданы поправки.

**Опорная сфера** задает радиус опорной сферы. Для плоскости задайте 0 или INF. При ненулевом значении ВФ считается измеренным относительно сферы заданного радиуса.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Поиск пятен** задает параметры обработки изображений ДВФ типа Шака-Гартманна. **Не рекомендуется менять без консультации с производителем ПО. Доступны в экспертном режиме**

**Базовый уровень** уровень шума на референсном изображении. Влияет на поиск опорных точек и размер ячеек.

**Макс. число итераций** задает максимальное число итераций поиска центра пятна. Влияет на точность и скорость вычислений ВФ.

**Макс. невязка** задает максимально допустимую погрешность определения центра пятна. Влияет на точность и скорость вычислений ВФ.

**Порог  $0\sqrt{2}$**  Параметры алгоритма определения центра пятна. Влияют на точность и скорость вычислений ВФ.

**Мин.\Макс. размер ячейки** задают пределы размеров ячеек при обработке референсного изображения (в пикселах, 0 – нет ограничений).

**Актуальный размер ячейки** отображает найденный размер ячейки (в пикселах).

**Фильтрация** задает параметры фильтрации пятен – оценки из пригодности для вычисления ВФ. **Не рекомендуется менять без консультации с производителем ПО. Доступны в экспертном режиме**

**Мин.массы** минимальная суммарная яркость в пределах ячейки.

**Мин.вес** минимальный вес пятна – определяется массой пятна на фоне остальных.

**Чувствительность веса** порог пересчета обратной матрицы при изменении веса пятен. Влияет на точность и скорость вычислений ВФ.

**Макс.дисперсии** максимальный размер пятна (в пиксела).

**Уровень пересв.** уровень, при превышении которого пятно будет помечено как пересвеченное. **Не влияет на вычисления.**

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.3.8. Закладка Обратная связь

Закладка позволяет задать параметры ОС.

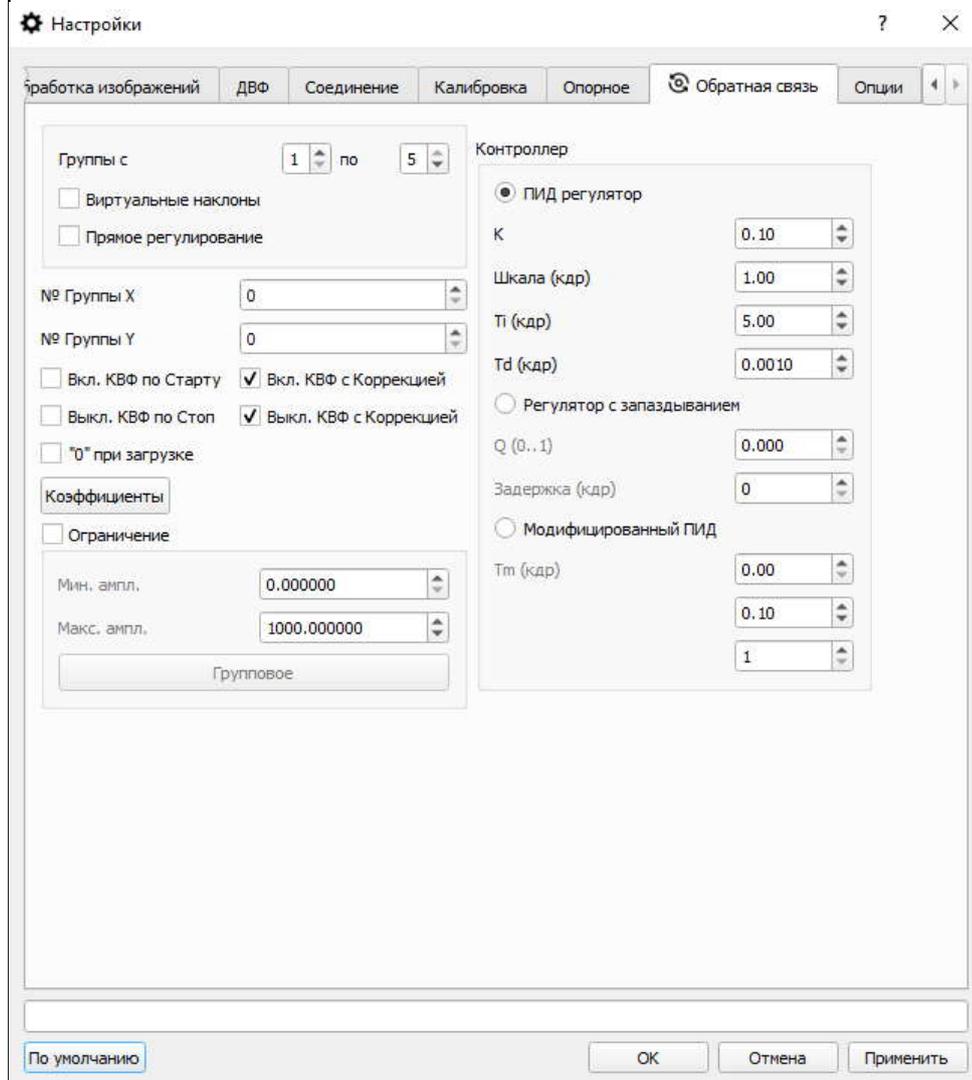


Рисунок 4.3.8.1. Панель **Настройки**, закладка **Обратная связь**.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Группы** задает группы, участвующие в ОС.

**Виртуальные наклоны** пометьте для игнорирования наклонов ВФ из ОС.

**Прямое регулирование** пометьте для работы ОС в режиме прямого управления.

**№ группы XY** задает каналы, соответствующие корректору наклонов (0 – при отсутствии выделенного корректора).

**Вкл. КВФ по Старту** пометьте, чтобы включать режим трекинга КВФ по нажатию кнопки **Старт**.

**Выкл. КВФ по Стоп** пометьте, чтобы выключать режим трекинга КВФ по нажатию кнопки **Стоп**.

**Вкл. КВФ с Коррекцией** пометьте, чтобы включать режим трекинга КВФ по замыканию ОС.

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Выкл. КВФ с Коррекцией** пометьте, чтобы выключать режим трекинга КВФ по размыканию ОС.

**«0» при загрузке** пометьте, чтобы подавать 0 на все каналы КВФ при загрузке модуля КВФ.

**Коэффициенты** открывает панель коэффициентов ОС, с помощью которых можно задавать индивидуальные настройки для каждой группы.

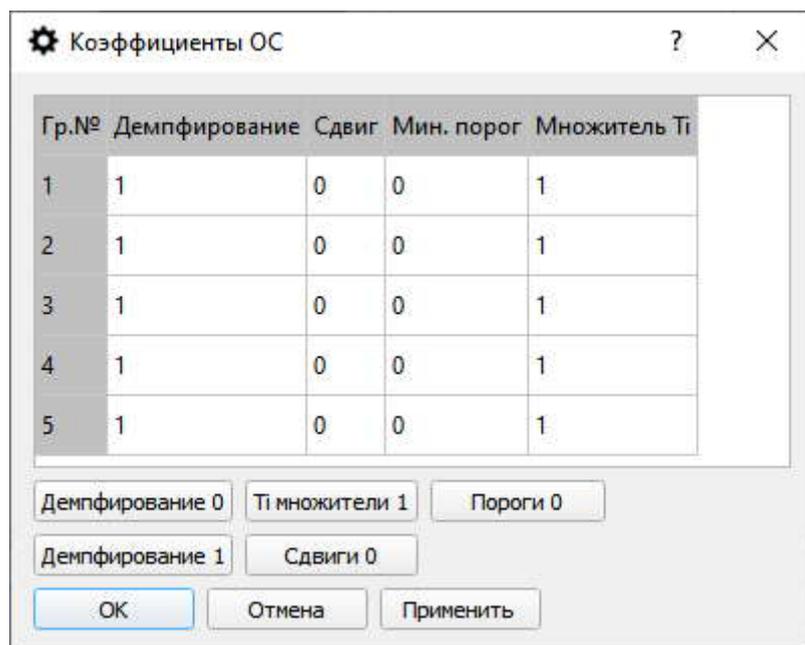


Рисунок 4.3.8.2. Панель **Коэффициенты ОС**.

Панель содержит следующие столбцы:

**Гр.№** номер группы.

**Демпфирование** множитель  $Damp$ . См. ниже.

**Сдвиг** аддитивное слагаемое, позволяет сместить рабочую точку.

**Мин. порог** ограничивает подаваемый сигнал по модулю снизу. Используется для уменьшения «дребезга» ОС.

**Множитель  $T_i$**  множитель для  $\tau_i$ . См. ниже.

Панель содержит следующие кнопки:

**Демпфирование 0** выставляет все коэффициенты демпфирования в 0. (При этом все группы будут отключены).

**Демпфирование 1** выставляет все коэффициенты демпфирования в 1. (При этом все группы будут управляться с одинаковым усилением).

**$T_i$  множители 1** выставляет все коэффициенты для  $\tau_i$  в 1.

**Пороги 0** выставляет все коэффициенты для минимальных порогов в 0.

**Сдвиги 0** выставляет все коэффициенты для сдвигов рабочей точки в 0.

**Ок** нажмите для применения изменений и закрытия окна.

**Отмена** нажмите для отмены изменений и закрытия окна.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Применить** нажмите для применения изменений.

### Ограничение

**Мин.\Макс. ампл.** ограничивает минимальный\максимальный сигналы управления.

**Групповое** открывает панель групповых ограничений.

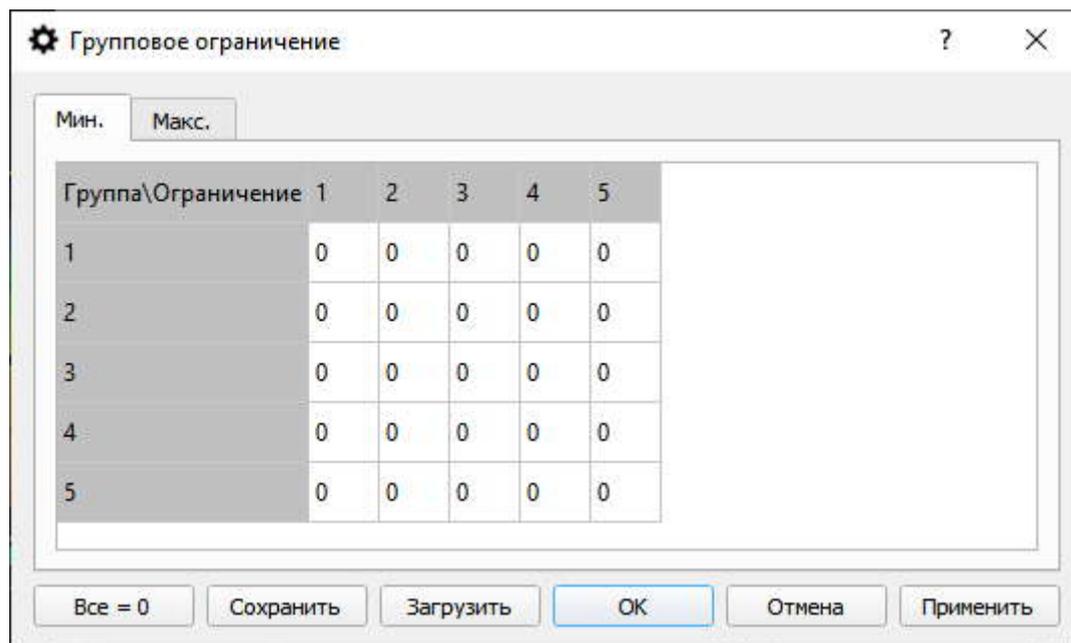


Рисунок 4.3.8.3. Панель **Групповых ограничений**.

Панель содержит следующие данные:

**Мин.\Макс.** минимальные и максимальные значения ограничений.

**Группа\Ограничение** таблица содержит ограничивающие значения для групп. Так, если в строке 1, колонке 2 стоят значения: -100 для минимума, +100 для максимума, то управление группой 1 будет происходить, пока значение группы 2 будет в заданных пределах (значения на диагоналях ограничивают сигнал группы). Если минимальное и максимальное значения для данных каналов совпадают, ограничения не применяются. **Возможно задание взаимоисключающих значений, при которых управление станет невозможным!**

Панель содержит следующие кнопки:

- Все = 0** сбрасывает все значения в 0.
- Сохранить** открывает диалог сохранения в файл.
- Загрузить** открывает диалог загрузки из файла.
- Ок** нажмите для применения изменений и закрытия окна.
- Отмена** нажмите для отмены изменений и закрытия окна.
- Применить** нажмите для применения изменений.

**Контроллер** задает параметры контроллера ОС.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**К, Шкала, Td, Ti, Tm, Q, Задержка** Параметры для вычисления сигналов управления контуром обратной связи. Сигналы вычисляются в соответствии со следующими выражениями:

Для стандартного ПИД регулятора:

$$u(t) = KDamp \left[ x(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t x(t) dt + \tau_d \frac{dx(t)}{dt} \right],$$

где  $u(t)$  – сигнал управления,  $x(t)$  – сигнал ошибки,  $\tau_i$  и  $\tau_d$  – коэффициенты, пропорциональные значениям **Ti** и **Td** соответственно.  $dt$ (шкала) – параметр интегрирования, величина которого должна быть близка к значению  $1/FPS$ , где  $FPS$  – частота считывания кадров с камеры датчика,  $Damp$  – коэффициент ослабления канала (задается в панели **Коэффициенты**). Подробности см. [1].

Если значения **Шкала** или **Ti** равны нулю, используется другая формула (пропорциональный контроллер):

$$u(t) = KDamp * x(t).$$

Для Регулятора с запаздыванием:

См. подробное описание в книге [2].

Для модифицированного ПИД:

Для автоматической оценки параметров **Ti** и **Td** необходимо установить их значения в -1 и выбрать тип «Модифицированный ПИД». Новые значения будут вычислены на основании величин **Tm** и **Задержка**.

См. также раздел 6.5.

**Апертурное зондирование**

**Порог** задает минимальный уровень изображения для обработки.

**Пропуск кадров** задает число кадров, которые будут пропущены между сигналами управления.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.3.9. Закладка Опции

Содержит настройки, связанные с отображением данных, числом записей и пр.

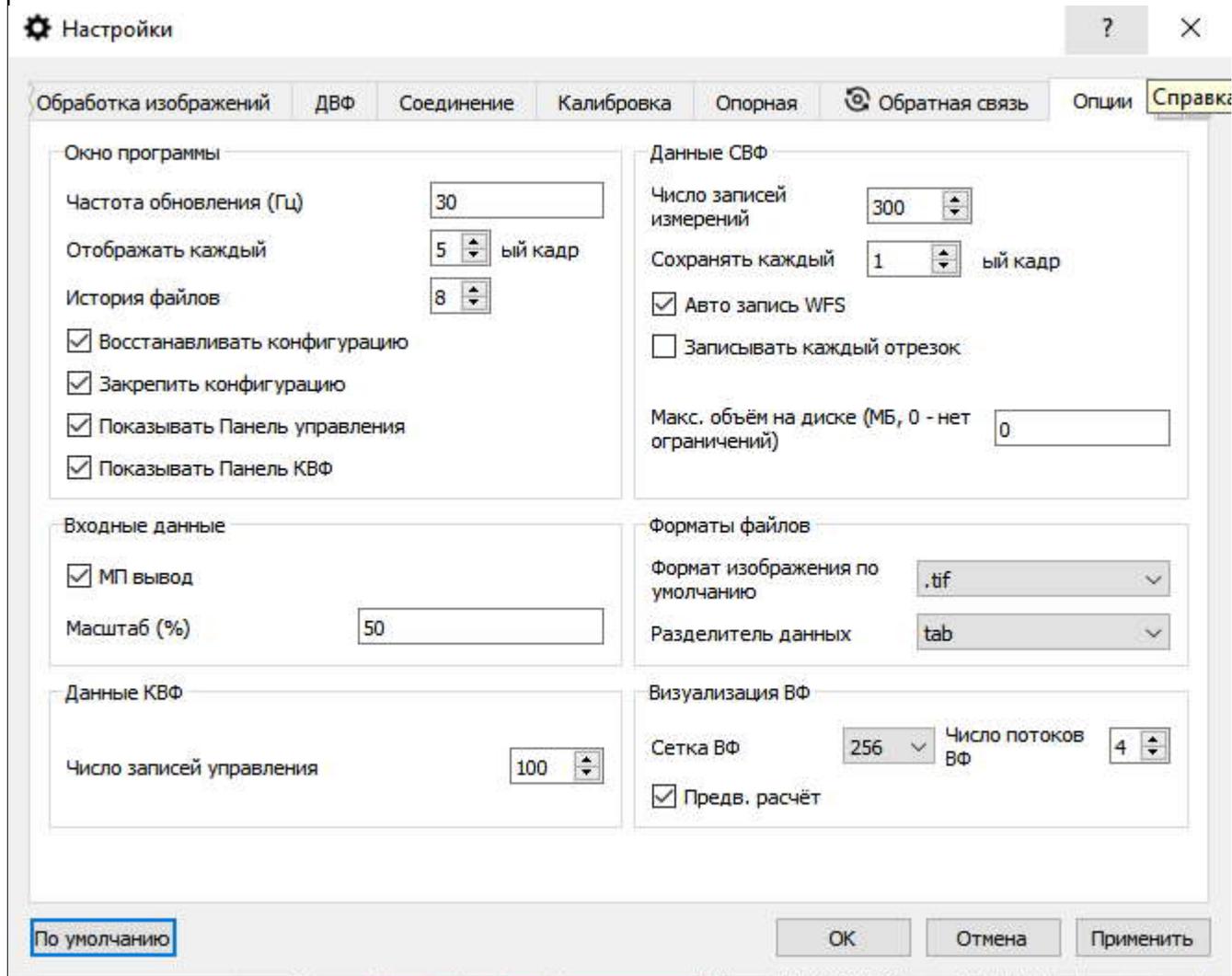


Рисунок 4.3.9. Панель **Настройки**, закладка **Опции**

Закладка содержит следующие элементы управления:

- Окно программы** задает параметры **Основного окна** программы
- Частота обновления** задает частоту обновления отображения данных.
- Отображать каждый N-ый кадр** задает обязательное расстояние в кадрах, которые будут отображаться.
- История файлов** задает размер истории файлов (см. 4.2.1.1.5).
- Восстанавливать конфигурацию** пометьте, чтобы загружать расположение и настройки окон программы при старте.
- Закрепить конфигурацию** пометьте, чтобы не разрешать изменение автоматически открытых окон.
- Показывать Панель управления** пометьте, чтобы открывать Панель управления при старте Программы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

**Показывать КВФ** Открывать окно Корректор ВФ при старте Программы.

**Данные СВФ** задает параметры массива измерений в формате WFS.

**Число записей измерений** задает длину массива измерений.

**Сохранять каждый N кадр** задает частоту записей в массиве измерений.

**Авто запись WFS** пометьте, чтобы автоматически сохранять массив измерений в файл по нажатию кнопки Стоп. См. 4.4.1.

**Записывать каждый отрезок** пометьте, чтобы автоматически сохранять каждый заполненный массив измерений в реальном времени.

**Макс. объём на диске** задает максимальный объём, занятый на диске файлами измерений в выбранной директории, см. 4.4.1. В случае превышения заданного объёма самые старые файлы будут автоматически удаляться. (0 – нет ограничений).

**Визуализация ВФ** опции визуализации ВФ влияют на частоту обновления ВФ, следует подбирать обращая внимание на общее быстродействие системы.

**Сетка ВФ** задает размер сетки вычислений ВФ.

**Число потоков ВФ** задает число поток вычисления визуализации ВФ.

**Предв. расчёт** включает режим предварительного расчета матриц полиномов.

#### Входные данные

**МП вывод** включает режим многопоточной визуализации изображений. Может влиять на быстродействие системы.

**Масштаб** задает масштаб по умолчанию окна вывода изображений с камеры ДВФ.

#### Форматы файлов

**Формат изображения по умолчанию** задает тип по умолчанию для записи графических файлов.

**Разделитель данных** задает разделитель для сохранения данных в текстовых файлах.

#### Данные КВФ

**Число записей управления** задает длину истории посланных на КВФ сигналов.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 4.4 Панель управления

Панель управления открывается по умолчанию, если помечен пункт **Показывать Панель управления** в панели **Настройки/Опции** (см. 4.3.9).

Панель управления содержит следующие кнопки:

-  **Сброс**           отменяет внесенные изменения.
-  **Применить**   применяет внесенные изменения.
-  **Выйти**               закрывает Программу.

Панель управления содержит следующие закладки:

### 4.4.1 Измерения

Закладка **Измерения** доступна, если загружена камера МИ ДВФ (см. 4.3.2.2.).

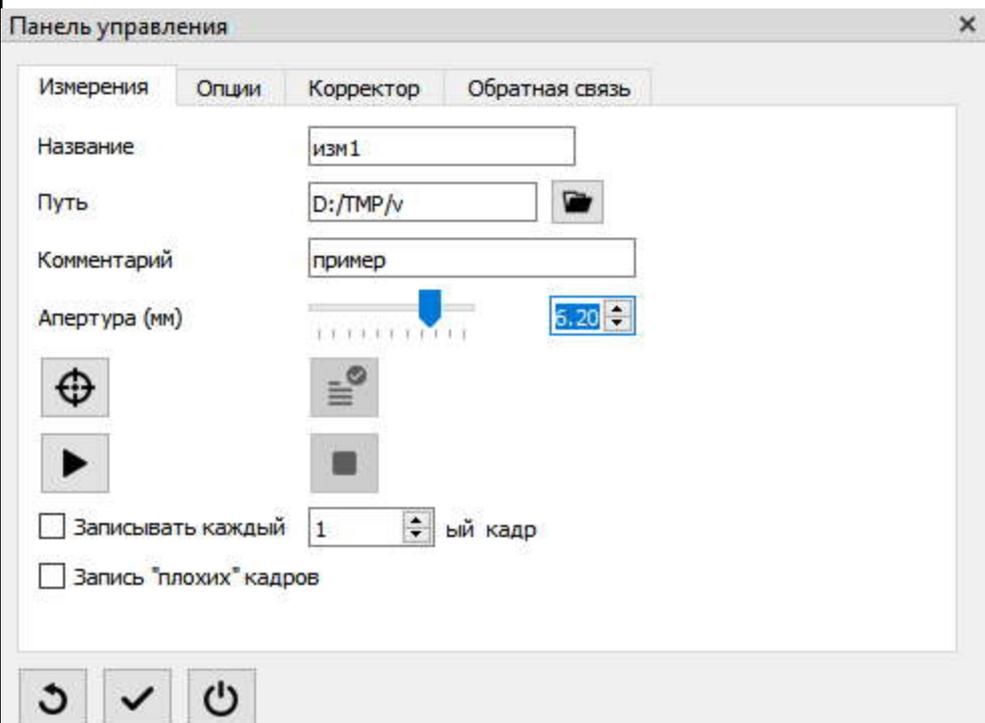


Рисунок 4.4.1. Панель управления, закладка **Измерения**.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Название**   название сеанса измерений. Это может быть произвольная строка символов, допустимых в качестве имени файла (т.е. любые буквы, цифры и символы, кроме следующих \ / : \* ? “ < > ).

**Путь**       задает путь, в который будут записываться файлы формата WFS по умолчанию. По указанному пути будет создана поддиректория с Названием измерения. Если помечена опция **Автозапись WFS** (см. 4.3.9), по нажатии кнопки Стоп в этой

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

поддиректории будет создан файл с именем Название\_ДатаВремяNNN, где NNN – микросекунды времени нажатия кнопки **Старт**. Нажмите  чтобы открыть диалог выбора директории.

**Апертура** задает текущую апертуру в мм.

**Комментарий** произвольный текст (не более 2047 символов).



**Кадр** нажмите для снятия (и обработки) одного кадра.



**Старт** нажмите для запуска процесса измерений.



**Стоп** нажмите для остановки процесса измерений.



**Обработка** нажмите для обработки текущего кадра. Доступна, если обработка измерений подготовлена, т. е. загружен **Модуль ДВФ** (см. 4.3.2.1.) и записана референсное изображение (см. 4.2.2.6.).

**Записывать каждый N кадр** пометьте для автоматической записи исходных изображений. В директории, в которую будут записываться WFS-файлы, будет создана поддиректория “RAW”, в которую будут записываться исходные изображения, поступающие с камеры МИ ДВФ, с именем «имя WFS-файла\_raw\_время микросек.» с момента нажатия кнопки **Старт**.

Запись каждого может существенно замедлить работу Программы.

**Запись «плохих» кадров** пометьте для автоматической записи «плохих» изображений, т.е. изображения, обработка которых не была произведена. В директории, в которую будут записываться WFS-файлы, будет создана поддиректория “BAD”, в которую будут записываться изображения, поступающие с камеры МИ ДВФ, с именем «имя WFS-файла\_bad\_время микросек.» с момента нажатия кнопки **Старт**.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 4.4.2 Опции

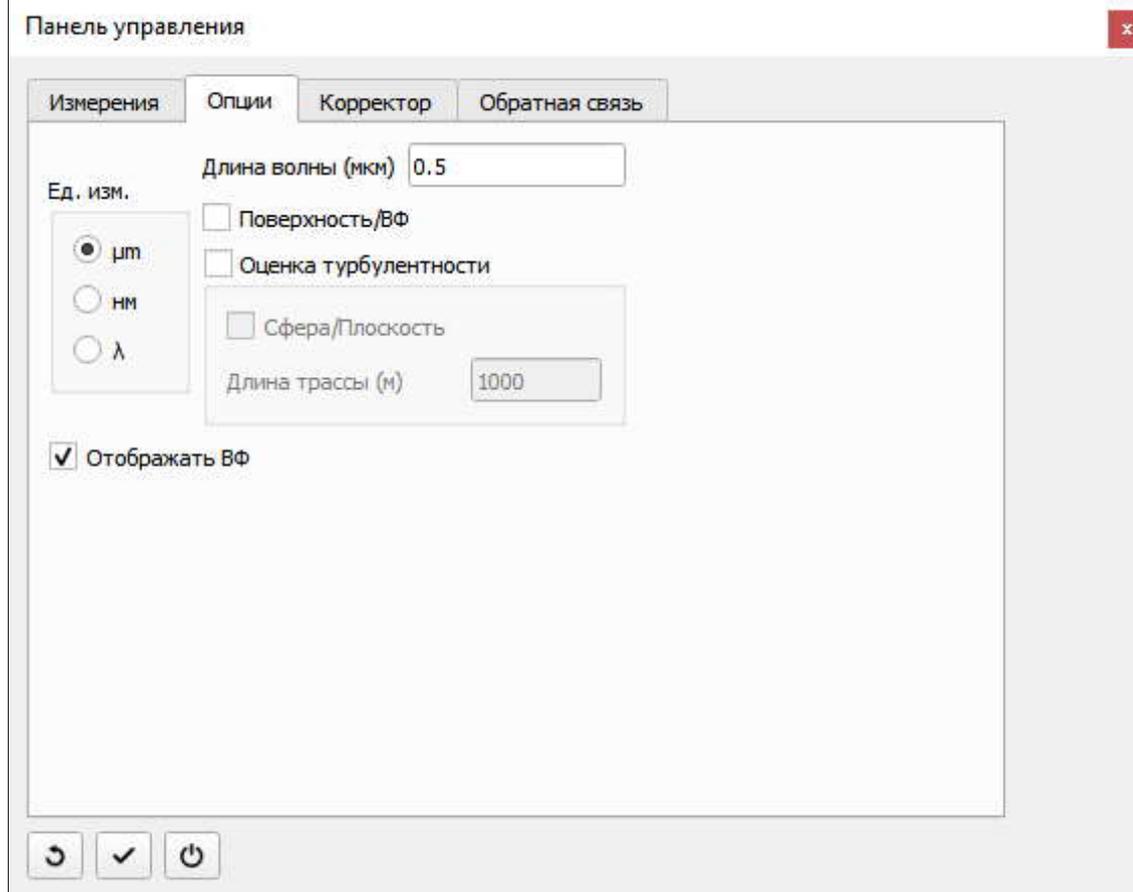


Рисунок 4.4.2. Панель управления, закладка Опции.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Ед. изм.** задает единицы измерения при отображении ВФ. Возможные варианты: мкм, нм и длина волны. (при выборе «длина волны» ВФ будет отображаться как «нарезка» по модулю длины волны.

**Длина волны** задает длину волны измерения в мкм.

**Поверхность/ВФ** пометьте для вычисления формы поверхности вместо ВФ (отличается от ВФ коэффициентом 0.5).

**Оценка турбулентности** пометьте для оценки турбулентности. Необходимо выбрать набор полиномов **Цернике ОСА** и порядок разложения не менее 4. Необходимо также задать **длину трассы** измерения (в м) и вид ВФ в зависимости от вида источника: точечный источник или коллимированный пучок (**сфера** или **плоскость**). Оценка производится в соответствии с [3].

**Отображать ВФ** пометьте для отображения ВФ в реальном времени. Может замедлить вычисления в реальном времени.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.4.3 Корректор

Данная вкладка видна, если загружен модуль КВФ (см. 4.3.2.3).

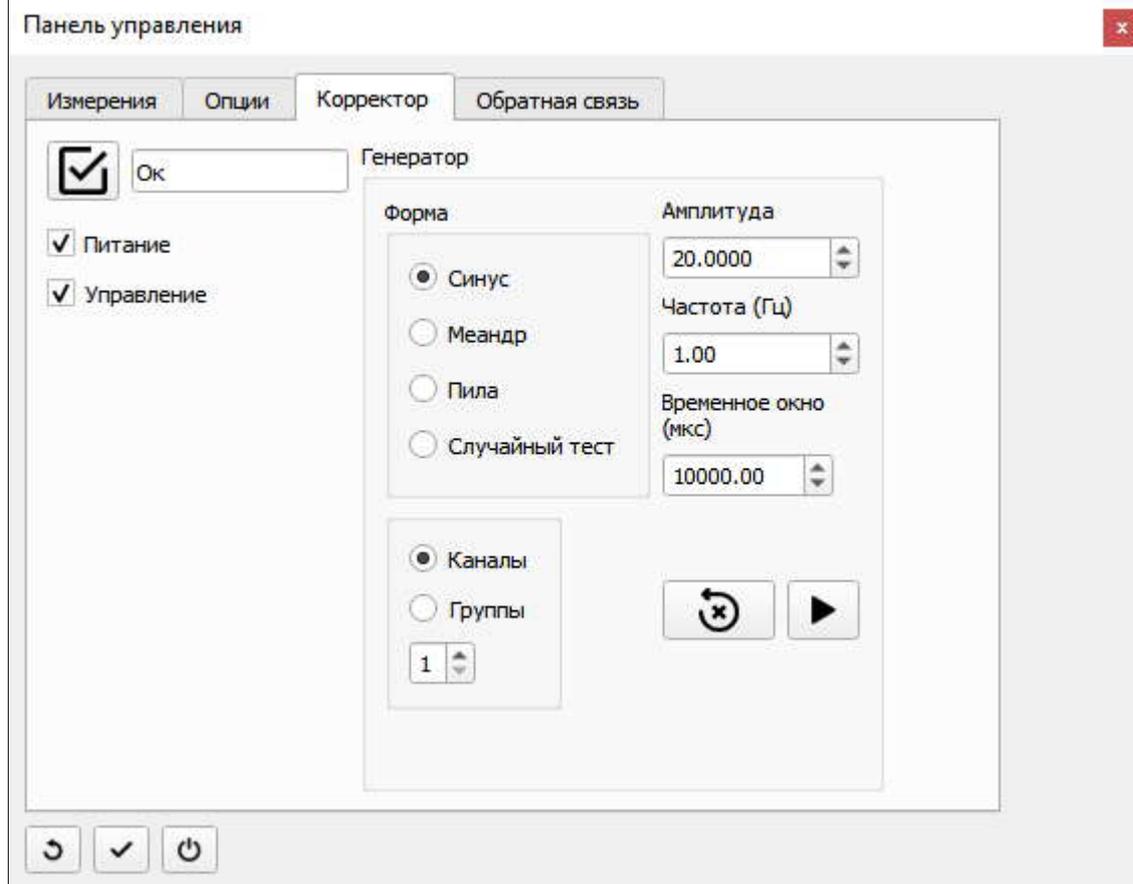


Рисунок 4.4.3. Панель управления, закладка **Корректор**.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Статус** нажмите, чтобы опросить состояние КВФ.

**Питание** пометьте для включения питания КВФ.

**Управление** пометьте для перевода КВФ в режим ОС.

**Генератор** настраивает параметры виртуального генератора сигналов управления КВФ.

Позволяет подавать либо периодический сигнал следующих типов: гармонический (**синус**), прямоугольный (**меандра**), **пилообразный**, либо **случайный тест** – амплитудные значения на случайную пару каналов. Пользователь может задать следующие параметры формы сигнала: **амплитуда** и **частота** повторения, а также время между последовательными посылками передачи – **временное окно**.

**Каналы\Группы** задает канал либо группу каналов, на которые подается сигнал.

 **Выкл.КВФ** нажмите для сброса поданных сигналов.

 **Старт** \  **Стоп** нажмите для запуска\остановки генератора сигналов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

#### 4.4.4 Обратная связь

Данная вкладка видна, если загружен модуль КВФ (см. 4.3.2.3) и камера МИ ДВФ (см. 4.3.2.2).

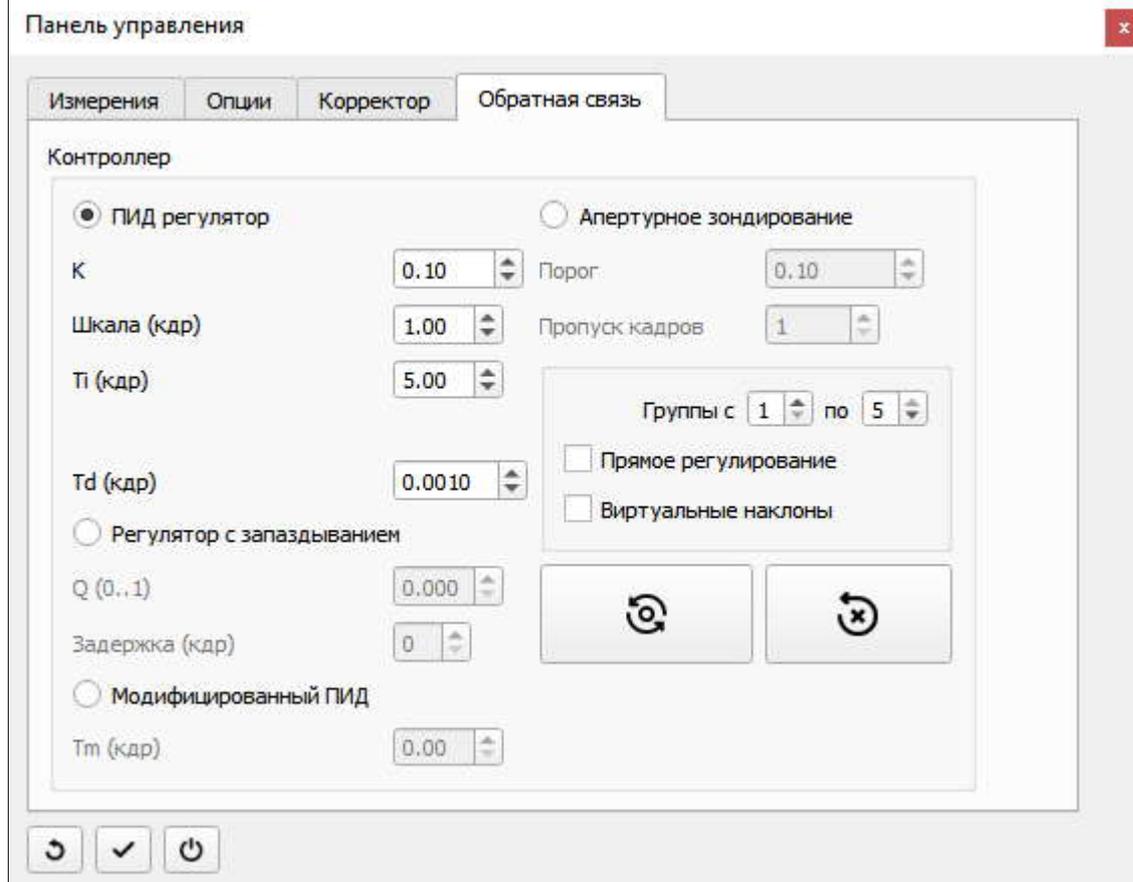


Рисунок 4.4.4. Панель управления, закладка **Обратная связь**.

Закладка содержит следующие элементы управления:

Тип и параметры **Регулятора** см. 4.3.8.

Выбор групп и тип регулирования см. 4.3.8.

**замкнуть ОС** \ **разомкнуть ОС** нажмите для замыкания\размыкания ОС.

**Выкл.КВФ** нажмите для сброса поданных сигналов.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 4.5 Панель Корректор ВФ

Панель **Корректор ВФ** открывается по умолчанию, если помечен пункт **Показывать Корректор ВФ** в панели **Настройки/Опции** (см. 4.3.9).

Панель **Корректор ВФ** содержит следующие кнопки:

-  **Сброс** отменяет внесенные изменения.
-  **Окно Каналы** открывает окно Каналы модуля КВФ. См. 5.3.1
-  **Окно Группы** открывает окно Группы модуля КВФ. См. 5.3.2
-  **Окно Конфигурация** открывает окно Конфигурация модуля КВФ. См. 5.3.3

Панель **Корректор ВФ** содержит следующие закладки:

### 4.5.1 Каналы

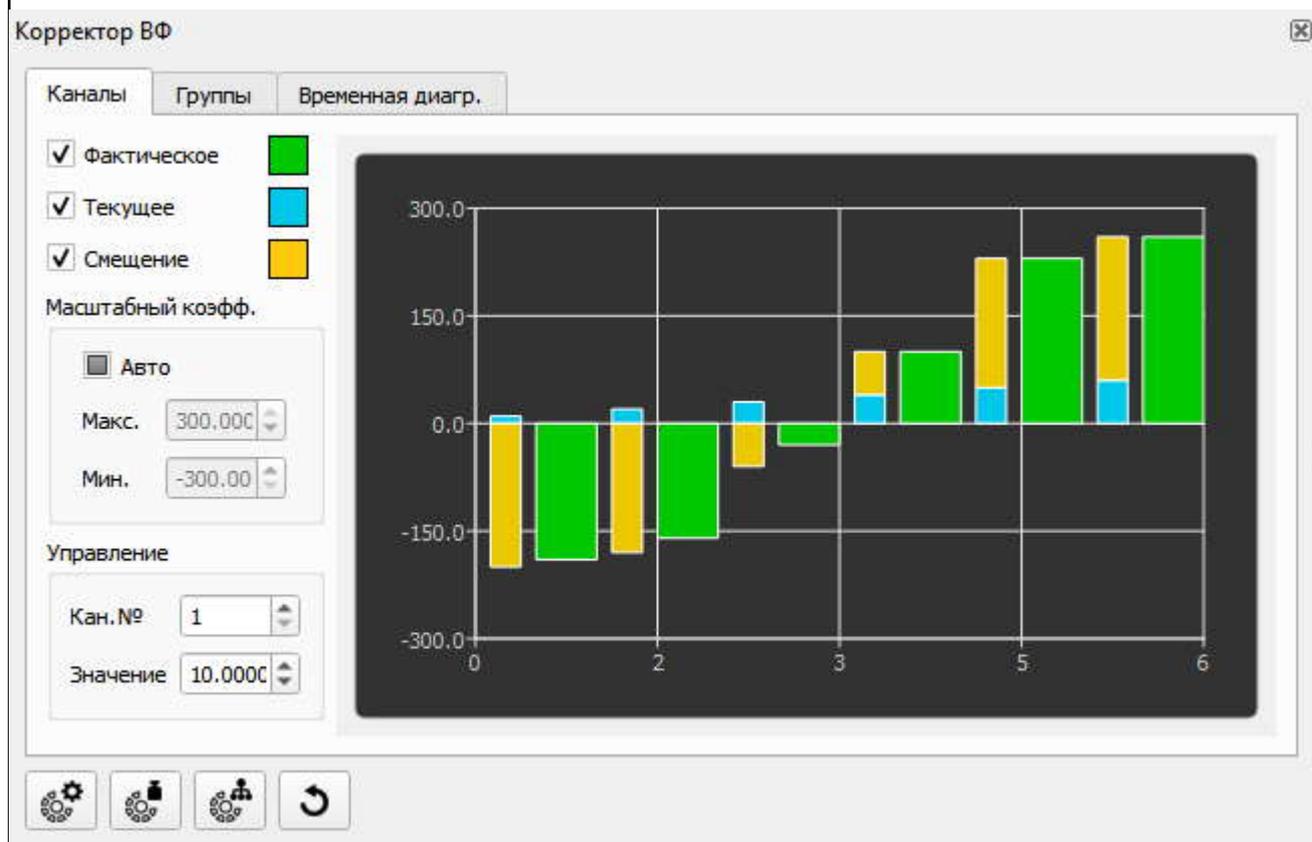


Рисунок 4.5.1. Панель **Корректор ВФ**, закладка **Каналы**.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Фактическое, Текущее, Смещение** пометьте для отображения соответствующего значения сигналов управления (**Фактическое** – сумма текущего и смещения).

**Масштабный коэфф.** выберите вариант отображения (**Авто** помеченное – автоматический выбор, **Авто** заполненное – минимальные/максимальные) или задайте пределы шкалы.

**Управление** выберите № канала и задайте значение.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

## 4.5.2 Группы

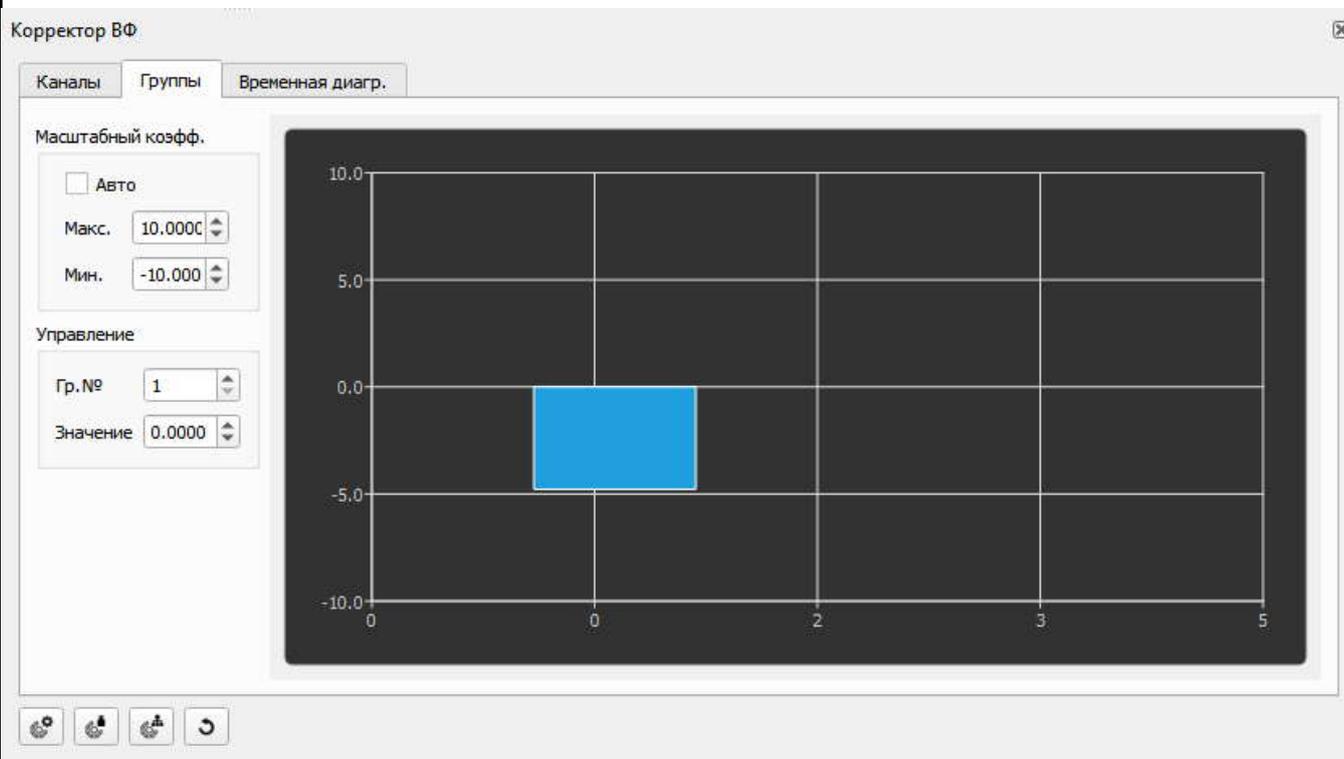


Рисунок 4.5.2. Панель **Корректор ВФ**, закладка **Группы**.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Масштабный коэфф.** выберите вариант отображения (**Авто** помеченное – автоматический выбор, **Авто** заполненное – минимальные\максимальные) или задайте пределы шкалы.

**Управление** выберите № группы и задайте значение.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.5.3 Временная диаграмма

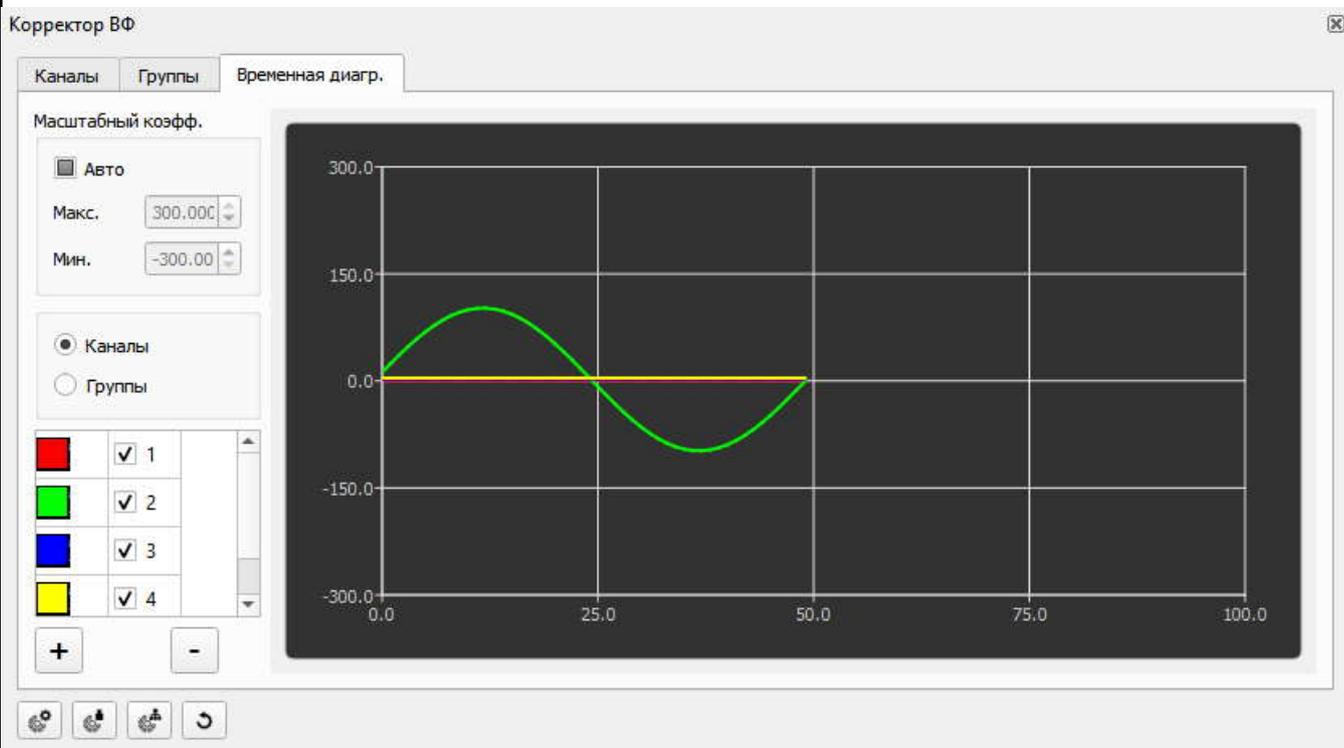


Рисунок 4.5.3. Панель **Корректор ВФ**, закладка **Временная диаграмма**.

Закладка содержит следующие элементы управления:

**Масштабный коэфф.** выберите вариант отображения (**Авто** помеченное – автоматический выбор, **Авто** заполненное – минимальные\максимальные) или задайте пределы шкалы.

**Каналы\Группы** выберите вариант отображения.

«+» «-» добавляет\убирает данные на диаграмму.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 4.6 Сенсор

Таблица **Сенсор** открывается нажатием кнопкой  .

Таблица **Сенсор** содержит следующие кнопки:

-  нажмите, чтобы скопировать содержимое таблицы.
-  добавить в окно отчёта
-  закрывает данную таблицу.

Таблица **Сенсор** отображает следующие данные о работе Программы и подключенных устройств:



Параметр	Значение
Частота	
Корректор (Гц)	1.779
Камера (Гц)	1.78
Обработка (Гц)	1.779
Данные	
Всего пятен	1708
Использованные	1690
Апертура (мм)	190
Пучок	
X центра (мм)	190.2
Y центра (мм)	94.98
Мин. радиус (мм)	183.7
Макс. радиус (мм)	422.2
Угол (°)	180
Качество	
Фактор Штреля	0.9973
СКО(мкм)	0.005482
Размах(мкм)	0.06852
Нормализованный $\chi^2$	18
Кривизна	
Наклон по X(мрад)	0
Наклон по Y(мрад)	-7.504e-05
Кривизна(мм)	1.483e+08
Сфера (дптр.)	6.741e-06
Астигматизм (дптр.)	1.024e-06
Ось цилиндра (°)	125.4
Турбулентность	
$R_0$ (см)	117.8
$C_n^2$ ( $m^{-2/3}$ )	0.3425
по Колмогорову (%)	65.75

Рисунок 4.6. Таблица **Сенсор**.

**Частота** отображает частоту камеры МИ ДВФ (**Камера**), частоту выполненной обработки кадров (**Обработка**) и частоту работы ОС (**Корректор**).

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

- Данные** показывает общее число пятен референсного изображения (**Всего пятен**), отфильтрованных и использованных для вычислений (**Использованные**), а также текущую апертуру (**Апертура**).
- Пучок** показывает положение **X, Y центра** пучка и аппроксимацию пучка эллипсом (**Мин., Макс., Угол**).
- Качество** показывает среднеквадратичное отклонение ВФ (**СКО**), **Размах ВФ**, **Фактор Штреля** (Значение фактора Штреля вычисляется в соответствии с приближенным выражением:  $\exp(-rms^2)$ , где rms (СКО) выражено в радианах), **Нормализованный  $\chi^2$** . Нормализованный  $\chi^2$  вычисляется как среднее рассогласование между пятнами гартманнограммы и вычисленной аппроксимацией ВФ в единицах **Заряда насыщения пиксела** ( $e^-$ ) (см. 4.3.6) Если  $\chi^2$  много меньше заданного **Заряда насыщения пиксела**, можно сделать вывод об удовлетворительном вычислении ВФ. Если  $\chi^2$  высок, увеличьте порядок набора полиномов разложения ВФ.
- Кривизна** показывает **Наклоны ВФ**, **кривизну ВФ**, оценку **Сферы**, **Астигматизма** и **Оси цилиндра ВФ**.
- Турбулентность** показывает оценку параметров турбулентности в соответствии с Колмогоровской моделью:  **$R_0$**  и  **$C_n^2$** . Оценки рассчитываются для заданной (в метрах) длины трассы распространения (см. 4.4.2) [3]. Оценка турбулентности выводится только в том случае, если она не превышает 10-кратный размер пучка.

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 4.7 Окна изображений.

Окна изображений имеют общие элементы управления:

- **Масштаб (без подписи)** – задает масштаб (в %) изображения данных, пользователь может выбрать из предлагаемых значений (10, 25, 50, 100, 200) или ввести произвольное положительное число;
- **X:, Y:, Z:** - показывают координаты и амплитуду входных данных в точке (X, Y) положения курсора мыши. При однократном нажатии левой кнопки мыши значения (X, Y) будут зафиксированы. При повторном нажатии фиксация будет отменена.
- **Легенда** – задает цветовую шкалу отображения (в оттенках серого или псевдоцветах). Пользователь может выбрать автоматический расчет шкалы (по минимуму и максимуму входных данных) или ввести минимум и максимум шкалы вручную.
- **Настройки отображения** – меню, открывающееся по нажатию правой кнопки манипулятора «мышь», содержит следующие опции:

**Информация** – открывает окно информации изображения, отображающее

**Название, Ширину, Высоту и Тип** изображения (глубина в битах или в типе данных).

### 4.7.0.1 Окно Информация

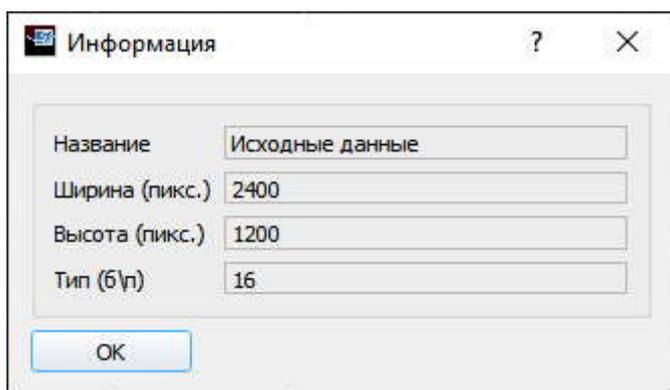


Рисунок 4.7.0.1. Окно **Информация**.

- **Копировать** – копирует изображение в системный буфер для последующего использования в других программах;
- **Легенда** – показывает\скрывает панель выбора шкалы отображения;

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

- **Удалить** – удаляет данные из Программы. Доступно для загруженных данных.
- **в Отчёт** – добавляет в окно Отчёта.
- **3D** – открывает окно с трехмерным отображением входных данных:

#### 4.7.0.2 Окно 3D

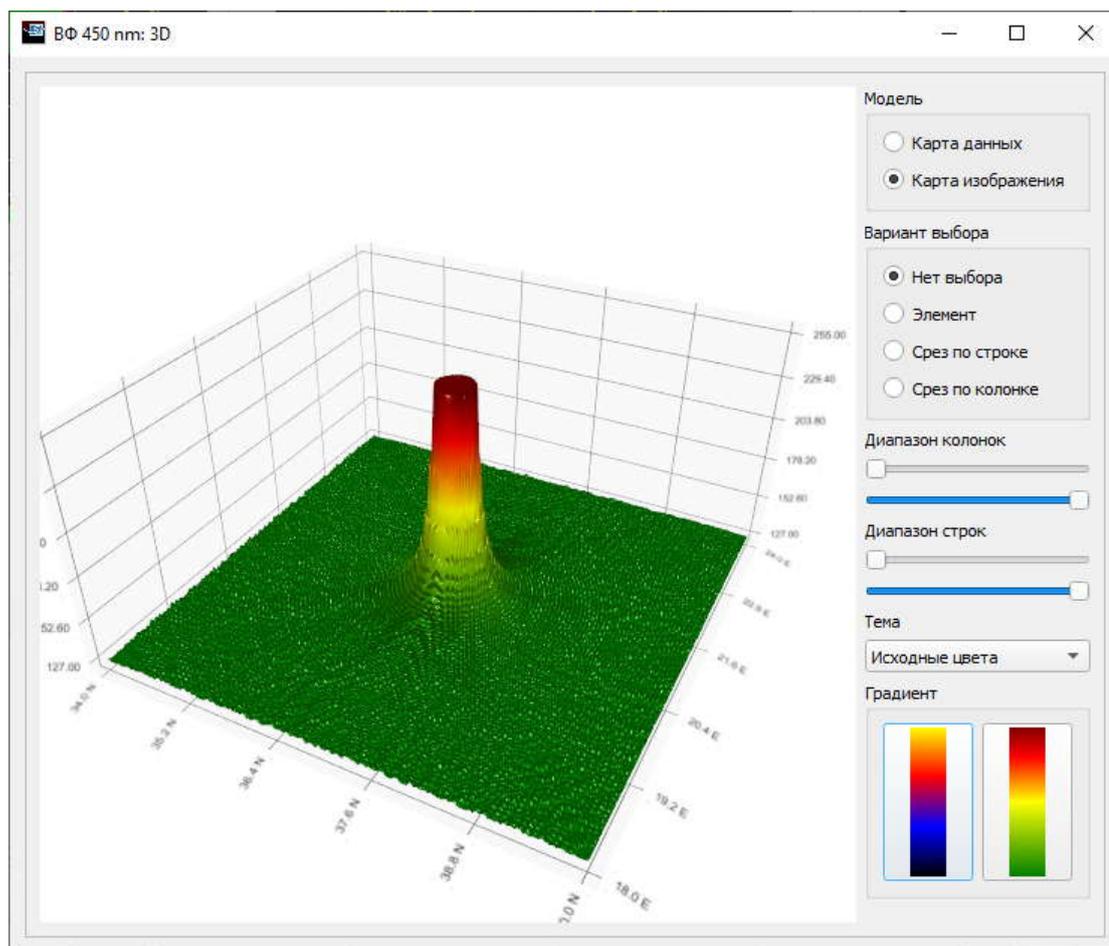


Рисунок 4.7.0.2. Окно **3D**.

Окно 3D отображает двумерные данные как трехмерную карту высот. Пользователь может выбрать модель отображения (карта данных использует исходные аппроксимированные цифровые данные, в то время как карта изображений соответствует графическому отображению данных – использует маскировку и т.п.), выбрать вариант выбора данных при нажатии на отображение курсором мыши, а также диапазоны отображения по строкам и столбцам и цветовую тему.

- **Сечение** – открывает окно с профилями входным данных по вертикали и горизонтали:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.7.0.3 Окно Сечение

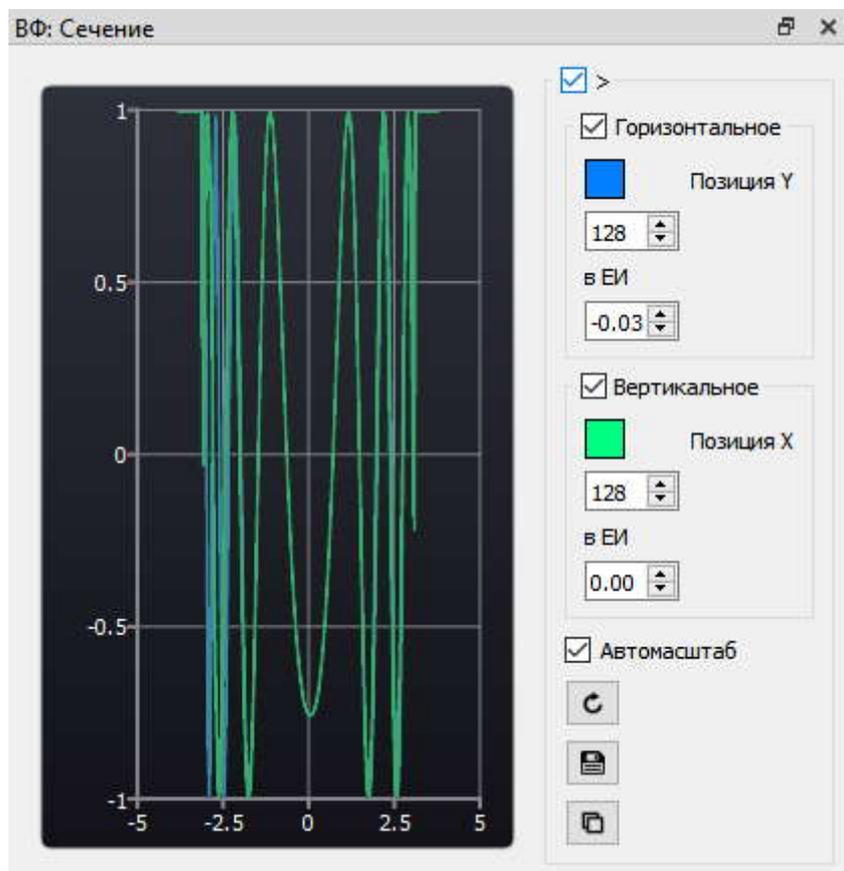


Рисунок 4.7.0.3. Окно **Сечение**.

Окно Сечение отображает диаграммы сечений данных по двум координатам.

Пользователь может выбрать, какое из сечений отображать (по умолчанию – отображаются оба) и в каком месте, выбрать режим автоматического масштабирования графика, обновить содержимое окна, сохранить данные в текстовый файл или скопировать как изображение. Также можно свернуть панель настроек (метка в верхней части панели со значком >) для увеличения области графика.

### 4.7.1 Изображение с камеры ДВФ

Карта изображения с камеры ДВФ может отображать исходные (необработанные), обработанные изображения, референсное и фоновое изображения. Изображения выводятся как картинка в оттенках серого в соответствии с заданными параметрами отображения (см. 4.3.3.).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

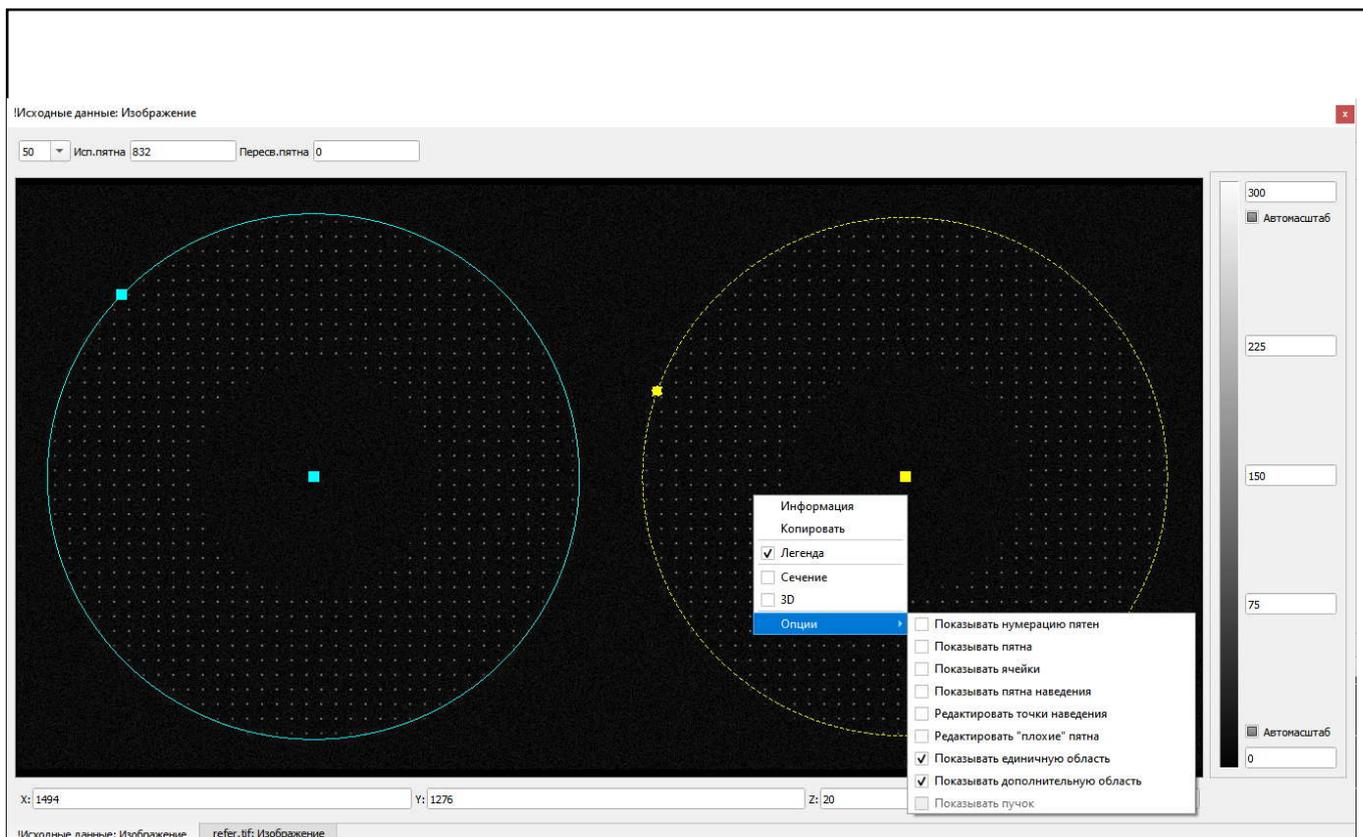


Рисунок 4.7.1.1. Окно **Изображение** с камеры ДВФ.

Окно содержит следующие специфические элементы управления:

- **Исп. пятна** – отображает количество использованных пятен.
- **Пересв. пятна** – отображает количество пересвеченных пятен.

Меню настроек содержит следующие специфические элементы управления:

- **Опции** – открывает меню настройки показа дополнительных данных:

**Показывать нумерацию пятен** – включает\выключает отображение номеров пятен гартманнограммы;

**Показывать пятна** – включает\выключает отображение пятен гартманнограммы в виде меток;

**Показывать ячейки** – включает\выключает отображение ячеек гартманнограммы в виде рамок;

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

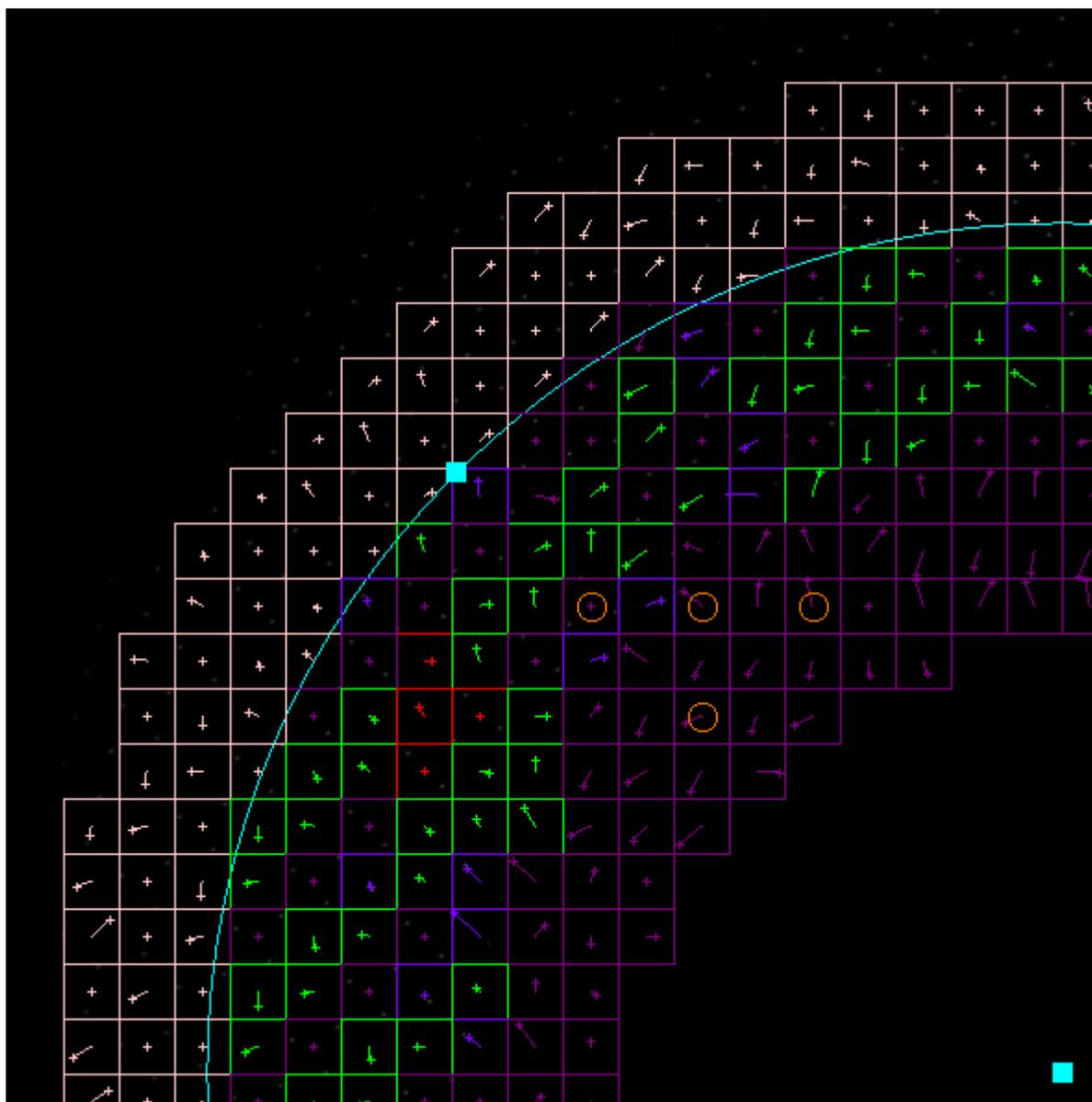


Рисунок 4.7.1.2. Фрагмент окна входных данных с включенными опциями.

**Показывать пятна, Показывать ячейки и Показывать пятна наведения.** Светло-бежевые – ячейки вне единичной области, малиновые – отфильтрованные по параметру масса, фиолетовые – отфильтрованные по параметру дисперсия, красные – «плохие» пятна, зеленые – использованные в вычислениях. Кружки – метки наведения.

**Показывать пятна наведения** – включает\выключает отображение пятен наведения в виде меток;

**Редактировать пятна наведения** – включает\выключает режим редактирования пятен наведения. Для добавления\удаления пятна наведения кликните левой кнопкой мыши в нужном месте;

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Редактировать «плохие» пятна** – включает\выключает режим редактирования «плохих» пятен. Для добавления\удаления пятна наведения кликните левой кнопкой мыши в нужном месте;

**Показывать единичную область** – включает\выключает отображение единичной области в виде круга с метками голубого цвета. При наведении курсора мыши на метку высвечиваются текущие параметры области. При удерживании нажатой левой кнопки мыши на курсоре пользователь может перетаскивать метки, меняя тем самым параметры области;

**Показывать дополнительную область** – включает\выключает отображение дополнительной области в виде круга с метками желтого цвета. При наведении курсора мыши на метку высвечиваются текущие параметры области. При удерживании нажатой левой кнопки мыши на курсоре пользователь может перетаскивать метки, меняя тем самым параметры области;

**Показывать пучок** – включает\выключает отображение положения и параметров пучка.

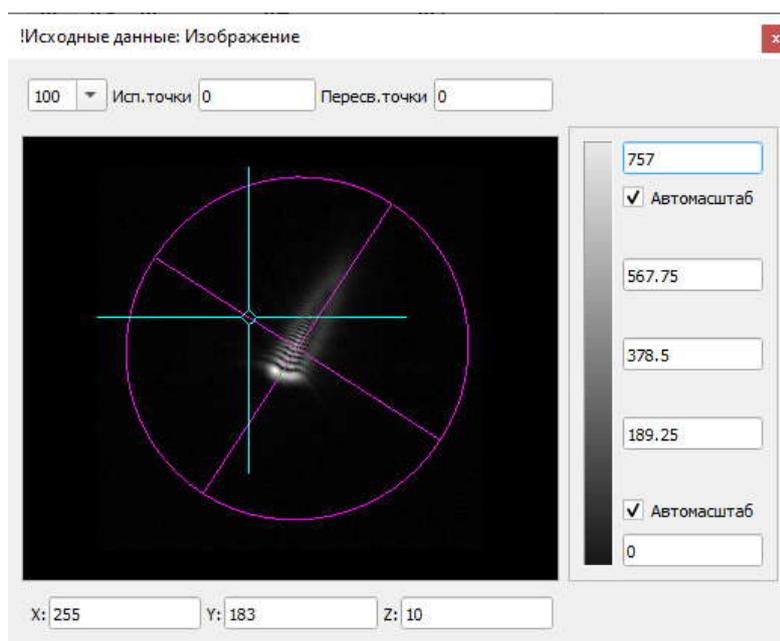


Рисунок 4.7.1.3. Окна входных данных с включенными параметрами пучка.

Голубым отображаются целевые значения, малиновым – текущие.

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 4.7.2 Изображение ВФ

Отображает ВФ в графической форме.

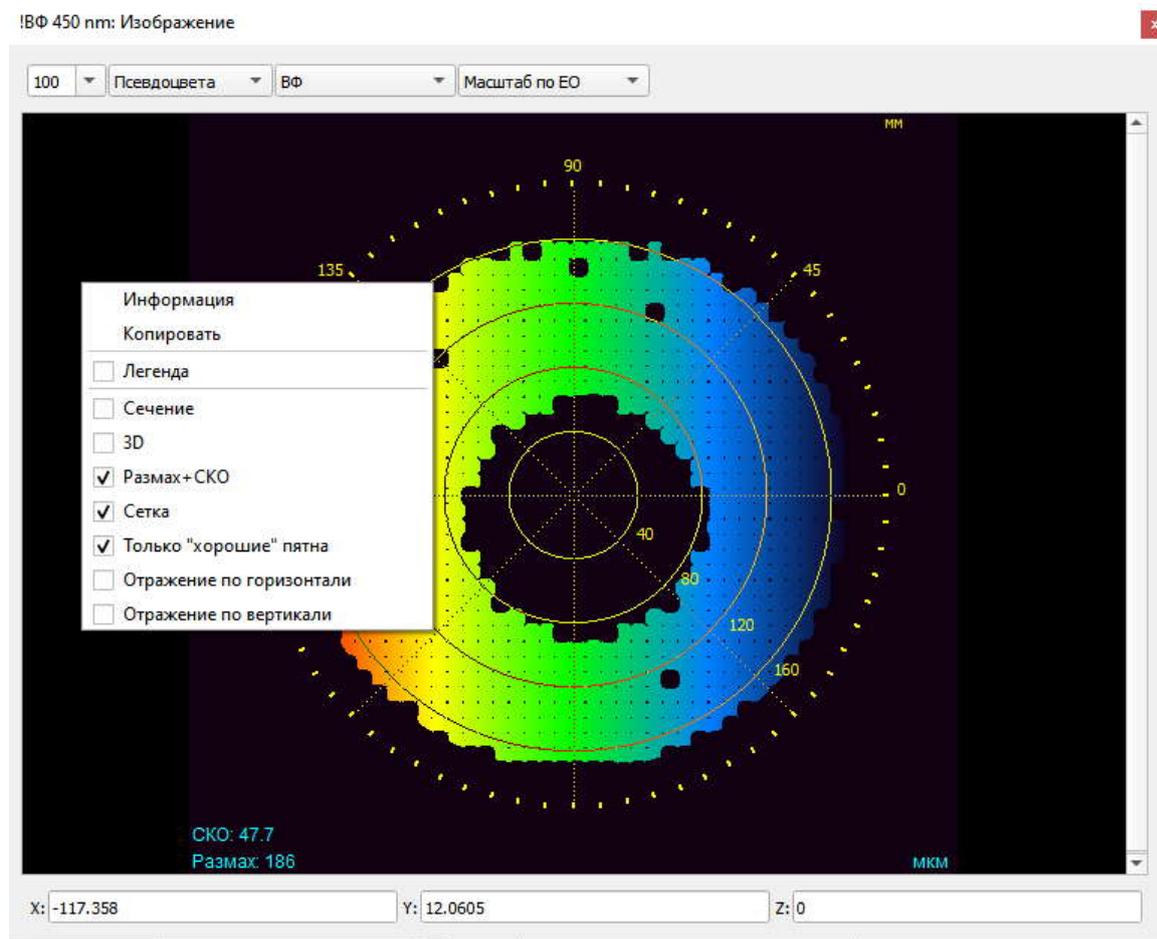


Рисунок 4.7.2. Окно **Изображение ВФ**.

Окно содержит следующие специфические элементы управления:

**Цветовая схема** позволяет выбрать между опциями **Оттенки серого** и **Псевдоцвета**

**Тип данных** позволяет выбрать между опциями **ВФ**, **Интерферограмма** (синтезирована по ВФ), **ФРТ** (когерентная функция рассеяния точки) и **ФРТ ТЛ** (некогерентная функция рассеяния точки).

**Масштаб** позволяет выбрать между опциями **Масштаб по ЕО** (сетка масштабирована по единичной области), **Макс. масштаб**, **Масштаб по камере** (сетка масштабирована по входному изображению с камеры).

Меню настроек содержит следующие специфические элементы управления:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Размах + СКО** Выводить текущие значения СКО и размаха ВФ.

**Сетка** Отображать координатную сетку.

**Только «хорошие» пятна** накладывать маску в соответствии с отфильтрованными пятнами

**Отражение по горизонтали\вертикали** переворачивать изображение соответствующим образом.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 4.8. Окна таблиц

Окна таблиц имеют общие элементы управления:

-  **Применить**      применить внесенные изменения.
-  **Сброс**              сбросить данные.
-  **Копировать**      копировать содержимое таблицы (или выделенного участка).
-  **Вставить**          вставить данные.
-  **в Отчёт**            добавить в окно отчёта
-  **Заккрыть**         закрыть окно.

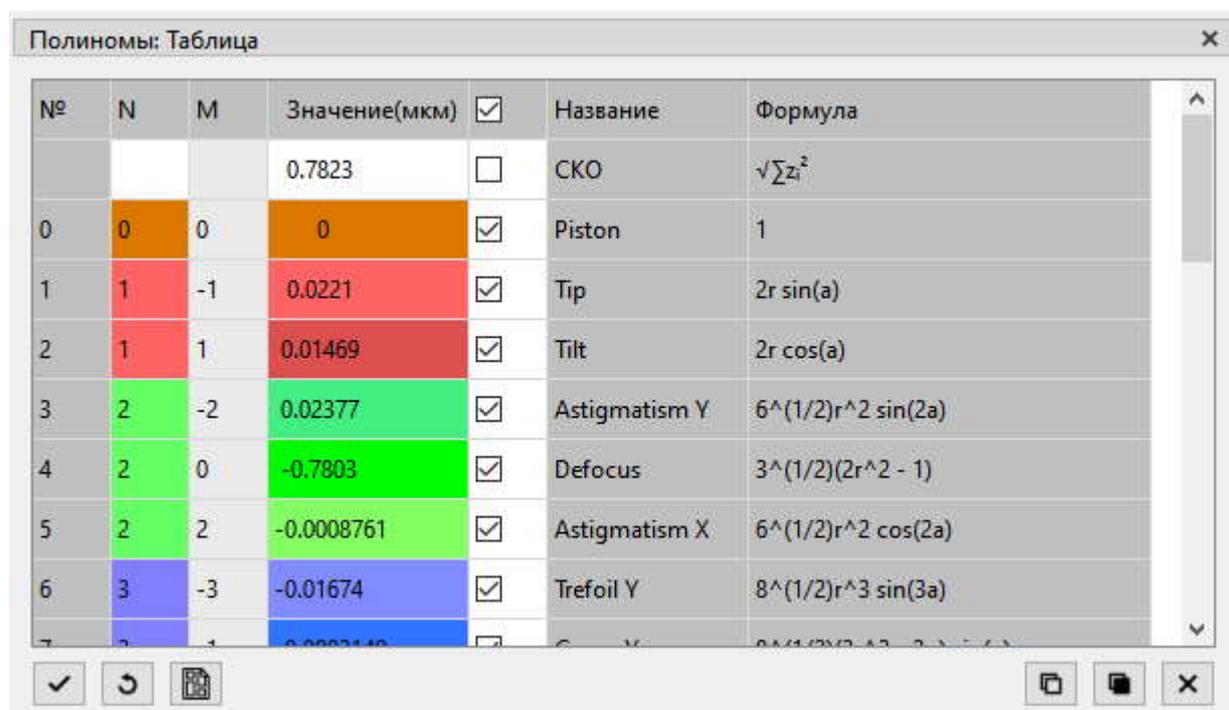
Окна таблиц имеют общие столбцы:

**№**                      порядковый номер.

**Значение**            данные.

Число столбцов и строк определяется типом данных и настройками Программы.

### 4.8.1 Таблица Полиномы



№	N	M	Значение(мкм)	<input checked="" type="checkbox"/>	Название	Формула
			0.7823	<input type="checkbox"/>	CKO	$\sqrt{\sum z_i^2}$
0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Piston	1
1	1	-1	0.0221	<input checked="" type="checkbox"/>	Tip	$2r \sin(a)$
2	1	1	0.01469	<input checked="" type="checkbox"/>	Tilt	$2r \cos(a)$
3	2	-2	0.02377	<input checked="" type="checkbox"/>	Astigmatism Y	$6^{(1/2)}r^2 \sin(2a)$
4	2	0	-0.7803	<input checked="" type="checkbox"/>	Defocus	$3^{(1/2)}(2r^2 - 1)$
5	2	2	-0.0008761	<input checked="" type="checkbox"/>	Astigmatism X	$6^{(1/2)}r^2 \cos(2a)$
6	3	-3	-0.01674	<input checked="" type="checkbox"/>	Trefoil Y	$8^{(1/2)}r^3 \sin(3a)$

Рисунок 4.8.1. Окно **Полиномы: Таблица**

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Таблица отображает амплитуды полиномов разложения, а также СКО (квадратный корень из суммы квадратов амплитуд). Цвета ячеек отражают порядок, а оттенок соответствует номеру.

Содержит следующие специфические данные:

**N** порядок полинома. Двойной клик помечает\снимает метку со всех полиномов данного порядка.

**M** номер в пределах порядка. Двойной клик помечает\снимает метку со всех полиномов данного номера во всех порядках.

**Метка** пометьте для использования данного полинома в вычислениях и при графическом отображении. Так, при вычислении ВФ не используются непомеченные полиномы. Пользователь может включить (или исключить) те или иные полиномы из дальнейших вычислений.

**Название** название полинома.

**Формула** математическая запись полинома.

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

#### 4.8.2 Таблица ФО:Разложение

Показывает разложение ВФ по ФО КВФ.

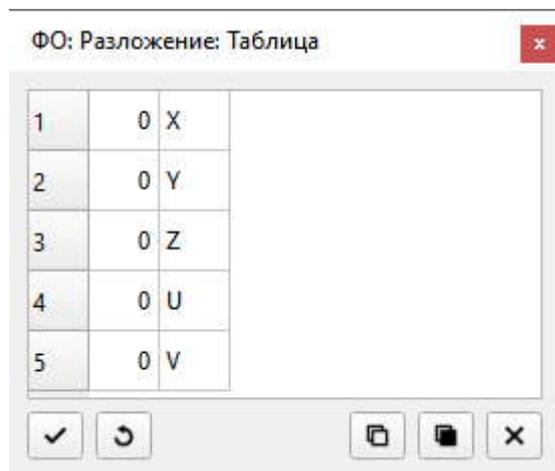


Рисунок 4.8.2. Окно **ФО:Разложение: Таблица**  
Содержит столбцы значений и названий ФО.

При нажатии кнопки **Применить** значения будут посланы на КВФ.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 4.8.3 Таблица ФО:Полиномы

Показывает разложение заданной ФО КВФ по полиномам. Позволяет детально изучить форму ВФ, создаваемого заданной ФО.

!ФО: Полиномы Гр.№ 1: Таблица

№	N	M	Значение(мкм)	✓	Название	Формула
0	0	0	0	✓	Piston	1
1	1	-1	-102.2	✓	Tip	$2r \sin(a)$
2	1	1	-102.5	✓	Tilt	$2r \cos(a)$
3	2	-2	96.75	✓	Astigmatism Y	$6^{(1/2)}r^2 \sin(2a)$
4	2	0	31.3	✓	Defocus	$3^{(1/2)}(2r^2 - 1)$
5	2	2	-0.07538	✓	Astigmatism X	$6^{(1/2)}r^2 \cos(2a)$
6	3	-3	-49.79	✓	Trefoil Y	$8^{(1/2)}r^3 \sin(3a)$
7	3	-1	2.213	✓	Coma Y	$8^{(1/2)}(3r^3 - 2r) \sin(a)$
8	3	1	2.886	✓	Coma X	$8^{(1/2)}(3r^3 - 2r) \cos(a)$
9	3	3	44.67	✓	Trefoil X	$8^{(1/2)}r^3 \cos(3a)$

✓ ↺ 📄 🖨️ ✕

Рисунок 4.8.3. Окно **ФО:Полиномы: Таблица**

Инва. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инва. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

#### 4.8.4 Таблица Сдвиг опорного

Показывает коэффициенты полиномов сдвига опорного изображения.

!Сдвиг опорной: Таблица x

№	N	M	Значение(мкм)	<input checked="" type="checkbox"/>	Название	Формула
0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Piston	1
1	1	-1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Tip	$2r \sin(a)$
2	1	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Tilt	$2r \cos(a)$
3	2	-2	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Astigmatism Y	$6^{(1/2)}r^2 \sin(2a)$
4	2	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Defocus	$3^{(1/2)}(2r^2 - 1)$
5	2	2	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Astigmatism X	$6^{(1/2)}r^2 \cos(2a)$
6	3	-3	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Trefoil Y	$8^{(1/2)}r^3 \sin(3a)$
7	3	-1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Coma Y	$8^{(1/2)}(3r^3 - 2r) \sin(a)$
8	3	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Coma X	$8^{(1/2)}(3r^3 - 2r) \cos(a)$
9	3	3	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Trefoil X	$8^{(1/2)}r^3 \cos(3a)$

Рисунок 4.8.4. Окно Сдвиг опорного: Таблица

Набор полиномов задается текущими установками. Размер ЕО задается на вкладке **Настройки/Опорное** (см. 4.3.7).

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.8.5 Таблица Пучок

Содержит столбцы параметров пучка. Доступно при включении режима Оценка пучка (см. 4.3.3.).

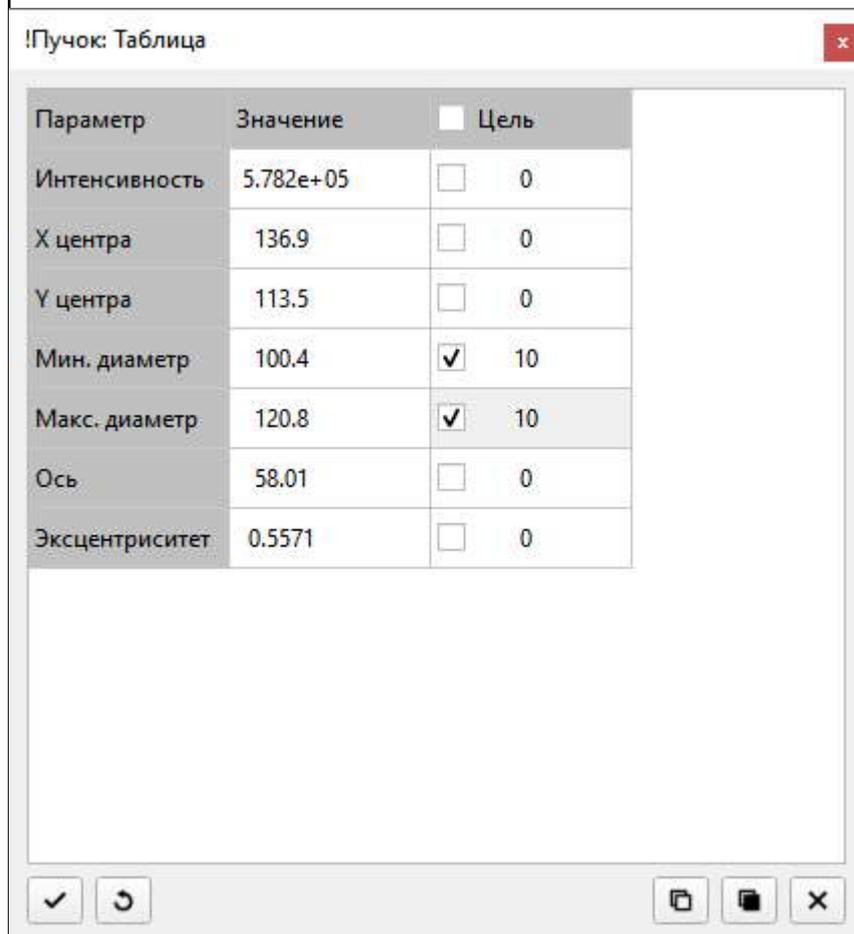


Рисунок 4.8.5. Окно **Пучок: Таблица**

Содержит следующие строки:

- Интенсивность**      сумма отсчетов интенсивности пучка.
- X, Y центра**            положение центра пучка
- Мин., Макс. диаметр**    диаметры пучка, форма которого аппроксимирована эллипсом.
- Ось**                    угол большей оси эллипса.
- Эксцентриситет**      относительное различие большей и меньшей осей эллипса.

Если загружен модуль КВФ, возможно замыкание обратной связи в режиме оптимизации параметров пучка (см. 4.4.4). Для этого задайте целевые значения параметров и выберите те параметры, по которым будет происходить оптимизация (см. Рис. 4.8.5).

В зависимости от того, какие aberrации присутствуют в оптической системе изначально, может потребоваться подстройка последовательности шагов оптимизации: например, сначала достижение макс. диаметром контрольного значения, затем уменьшение эксцентриситета, затем повышение интенсивности и т.п.

Важным является выбор величины порога яркости (см.4.3.3) таким образом, чтобы параметры пучка находились оптимально, т.е. соответствовали области максимальной яркости пучка (см. Рис. 4.7.1.3). Слишком низкий порог будет вызывать ошибку в определении

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

положения и размера пучка, а слишком высокий будет игнорировать отклонение формы пучка от заданной.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 4.9. Окна графиков

Окна графиков имеют общие элементы управления:

-  **Фиксировать**      фиксировать вертикальную шкалу графика.
-  **Закреть**            закрыть окно.
-  **Удалить**            удалить данные (доступно для загруженных данных).
-  **Копировать**        копировать график в системный буфер.
-  **в Отчёт**            добавить в окно отчёта

### 4.9.1. График Полиномы

Отображают в виде гистограммы амплитуды полиномов разложения ВФ. Цвета совпадают цветам ячеек соответствующих полиномов.

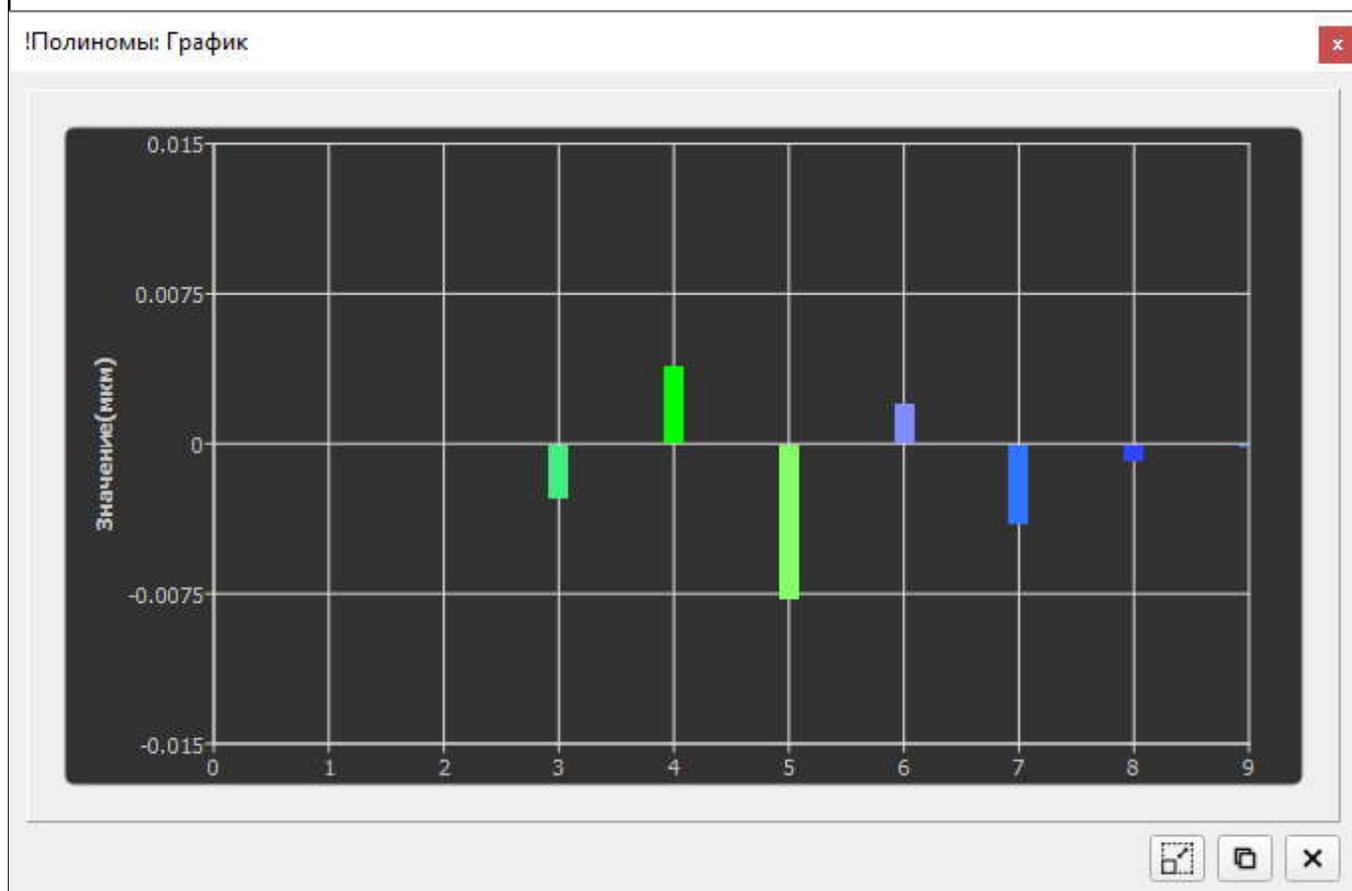


Рисунок 4.9.1. Окно **Полиномы: График**

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.9.2. График ФО: Разложение

Отображают в виде гистограммы амплитуд разложения ВФ по ФО.

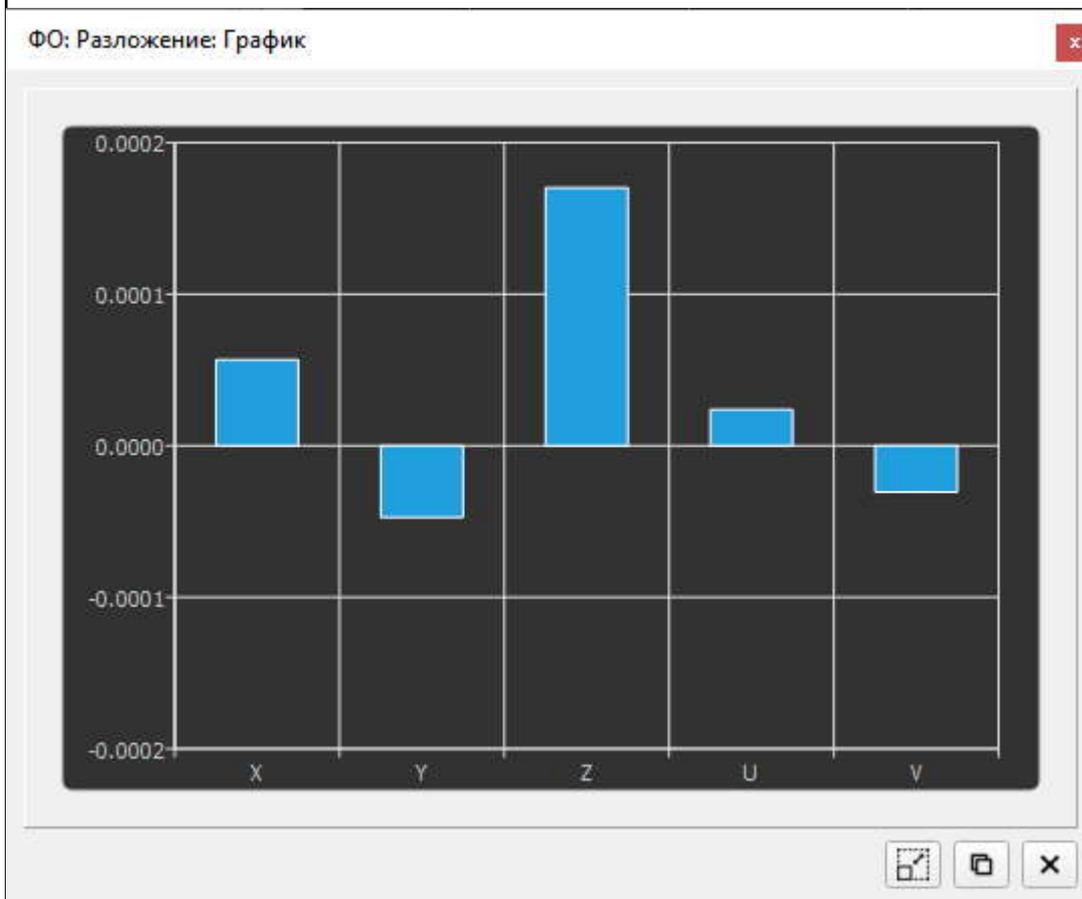


Рисунок 4.9.2. Окно **ФО: Разложение: График**

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

#### 4.10. Окна результатов

Отображают в виде временной диаграммы амплитуды полиномов разложения ВФ. Цвета совпадают цветам ячеек соответствующих полиномов.

Окна результатов имеют общие элементы управления:

-  **Фиксировать** фиксирует вертикальную шкалу графика.
-  **Заккрыть** закрывает окно.
-  **Удалить** удаляет данные (доступно для загруженных данных).
-  **Копировать** копирует график в системный буфер.
-  **Записать** записывает результат в файл.
-  **в Отчёт** добавить в окно отчёта

**Область усреднения** задает интервал записей, по которым производится усреднение амплитуд полиномов разложения. Пользователь может задать начало и конец интервала перемещая регуляторы или ввести значения вручную.

**Порядки\Полиномы** закладки, отображающие соответствующие данные. Закладка **Порядки** отображает график квадратного корня из суммы квадратов данных соответствующего порядка.

Пользователь может выбирать, какие полиномы\порядки отображать, помечая соответствующие полиномы в таблице **Полиномы** (см. 4.8.1).

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

#### 4.10.1. Результат Текущее

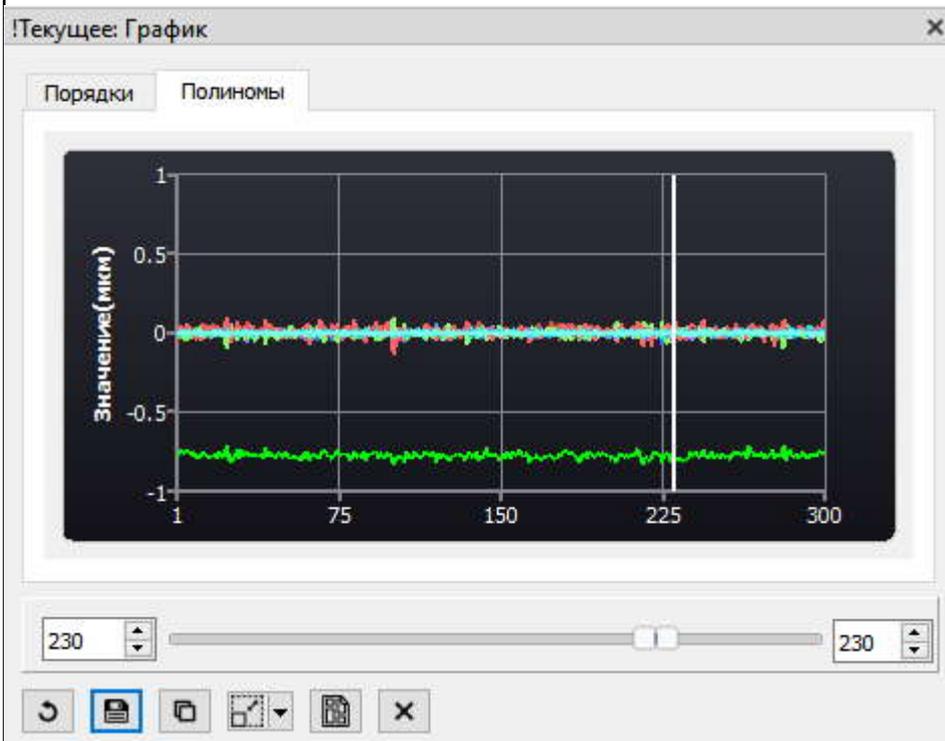


Рисунок 4.10.1. Окно Текущее: Результат

И Inv. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	И Inv. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

#### 4.11. Калибровка ФО

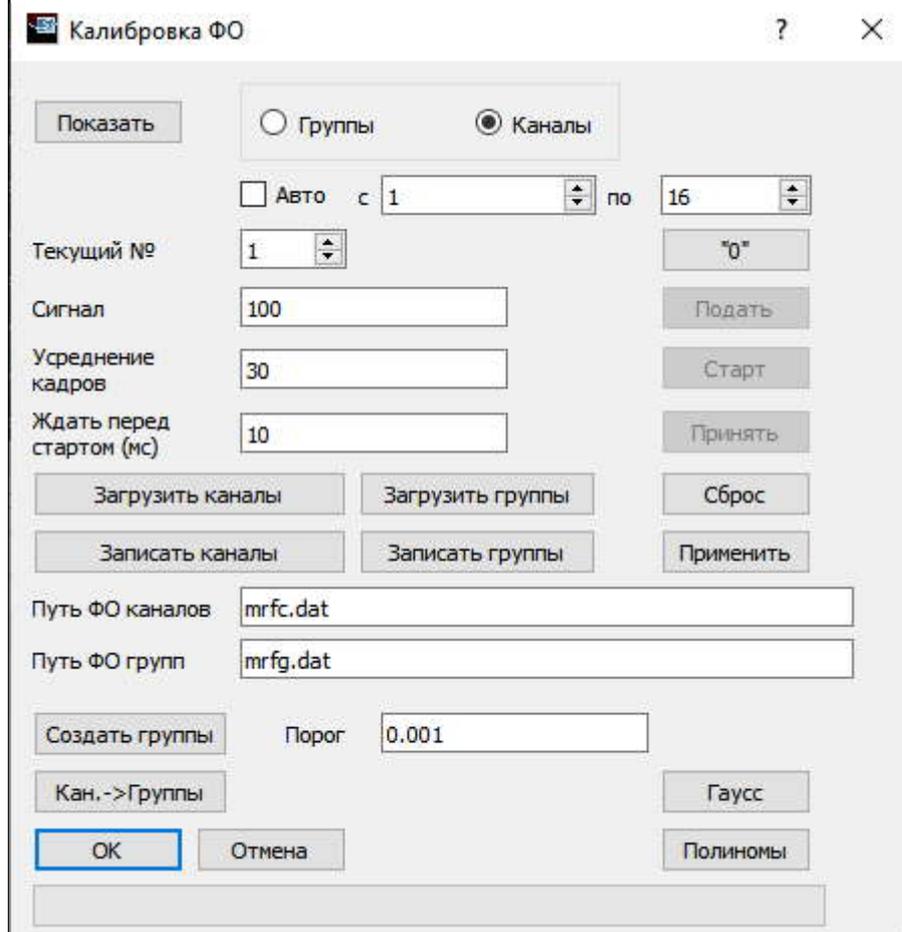


Рисунок 4.11. Окно Калибровка ФО.

Это диалоговое окно используется для регистрации формы функций отклика (ФО) корректора волнового фронта (КВФ). Перед началом этой процедуры убедитесь, что загружено изображение референсной гартманнограммы.

Перед стартом процедуры измерения функций отклика выберите, какое измерение будет произведено: **Группы** или **Каналы**. Введите величину пробного сигнала, подаваемого на корректор (**Сигнал**), количество усредняемых кадров (**Усреднение кадров**) и время **ожидания перед стартом**. Пробный сигнал должен быть выбран из следующих соображений: 1) сохранение линейности КВФ в пределах подаваемого сигнала; 2) сигнал должен уверенно регистрироваться датчиком, т.е. измеряемый ВФ должен демонстрировать значительное превышение сигнала над шумом. Число кадров усреднения выбирается с учетом уровня шума. Время ожидания перед стартом выбирается с учетом времени переходного процесса в контуре управления КВФ.

Для начала процедуры регистрации функции отклика в автоматическом режиме задайте номер первой и последней групп, затем запустите измерение нажатием кнопки **Старт Панели управления** (см. 4.4.1) и пометьте флажок **Авто**. Контролируя процесс измерений по графикам aberrаций в окне **Текущее** и **ВФ**, дождитесь завершения процедуры. Выполнение процесса отображается на индикаторе внизу окна, кроме того, номер текущего обрабатываемого кадра отображается в строке **Текущий №**. После завершения процедуры нажмите кнопку **Применить** для актуализации зарегистрированных ФО.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Для ручной (неавтоматической) регистрации одной функции отклика проделайте следующие операции:

1. Выберите **Группу** или **Канал**.
2. Задайте **Текущий №**.
3. Нажмите кнопку «0».
4. Нажмите кнопку **Подать** после ее активизации.
5. Глядя на окно **ВФ** (см. 4.7.1.) и **Текущее** (4.10.1) основного окна программы, дождитесь окончания переходного процесса.
6. Нажмите кнопку **Старт**. Дождитесь окончания измерения – кнопка **Принять** станет активной.
7. Нажмите кнопку **Принять**, если полученная функция отклика приемлема; в противном случае повторите этапы 3 – 6.

Если необходимо, вернитесь к этапу 2 и повторите процедуру регистрации для другой группы каналов управления корректором (другой функции отклика).

Нажмите кнопку **Применить** для актуализации зарегистрированных функций отклика.

Нажмите кнопку **Загрузить каналы** или **группы** для загрузки ранее зарегистрированных ФО.

Эти функции должны быть зарегистрированы для текущей конфигурации камеры МИ ДВФ (размер и глубина изображения), положения референсных пятен и конфигурации КВФ.

Для сохранения зарегистрированных функций в файл нажмите кнопку **Сохранить как**. При следующем запуске программы этот файл будет загружен автоматически.

Помимо описанных окно содержит следующие элементы управления:

**Сброс** обнуляет значения всех ФО.

**Пути к ФО** отображают пути к текущим файлам ФО.

**Создать группы** синтезирует весовые коэффициенты групп, которые будут соответствовать заданному набору полиномов разложения ВФ, по измеренным ФО каналов.

**Количество каналов должно быть не меньше числа полиномов!**

**Порог** задает минимальный порог модуля весового коэффициента, ограничивающего снизу синтезируемые значения весов групп.

**Кан. -> Группы** Формирует групповые ФО по ФО каналов, используя весовые коэффициенты групп. Позволяет аппроксимировать групповые ФО, не измеряя их непосредственно.

**Гаусс** синтезирует ФО каналов, используя форму функции Гаусса (локализованные ФО).

**Полиномы** синтезирует ФО каналов, используя форму функций полиномов разложения ВФ (модульные ФО).

**Эти опции используются для моделирования разложения ВФ по ФО и не должны использоваться для замыкания ОС.**

**ОК** применяет изменения и закрывает окно.

**Отмена** закрывает окно, не применяя внесенных изменений.

**Показать** открывает окно, отображающее ФО как набор ВФ:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.11.1 Окно ФО

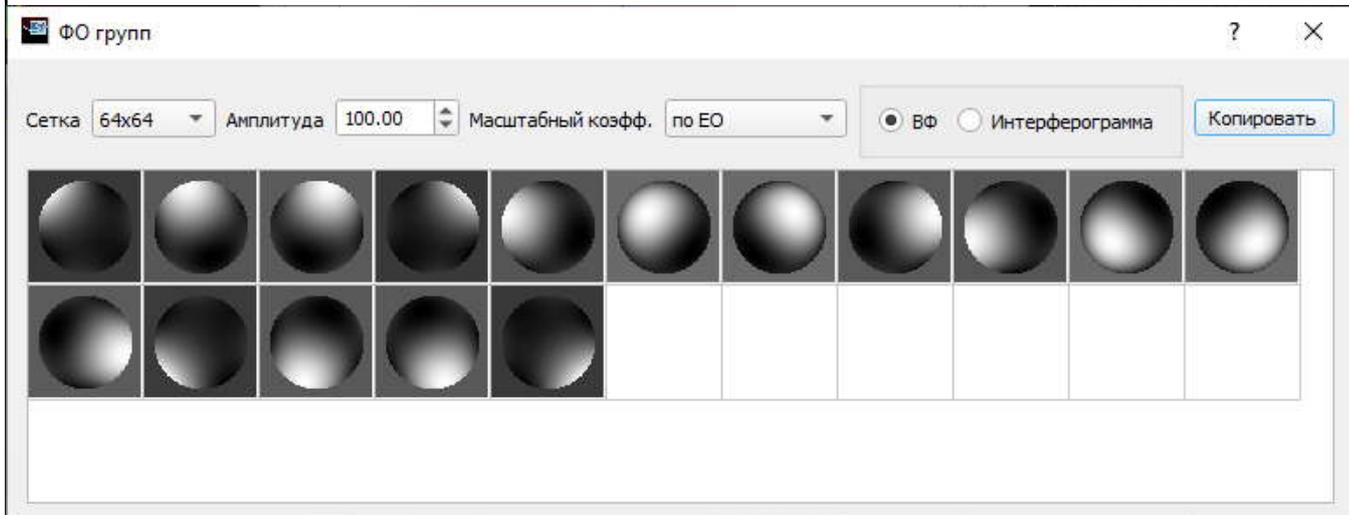


Рисунок 4.11.1. Окно ФО.

Окно позволяет выбрать **сетку** отображения, **амплитуду** синтезированного ВФ, **масштабный коэффициент** (относительно **ЕО**, максимальный и относительно **камеры**), тип данных (**ВФ** или **Интерферограмма**), а также скопировать содержимое в буфер обмена.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 4.12. Создание отчёта

Используя кнопки с изображением  или опции выпадающего меню в **Отчёт** добавьте интересные данные и варианты их отображения. Можно добавить несколько вариантов, которые затем можно настроить в окне **Отчёт**.

### 4.12.1. Окно формирования отчёта

Откройте окно **Отчёт** из основного меню Программы (п. 4.2.1.4.1.) или нажав сочетание клавиш **Ctrl R**. Пример окна **Отчёт** приведен на рис. 4.12.1.

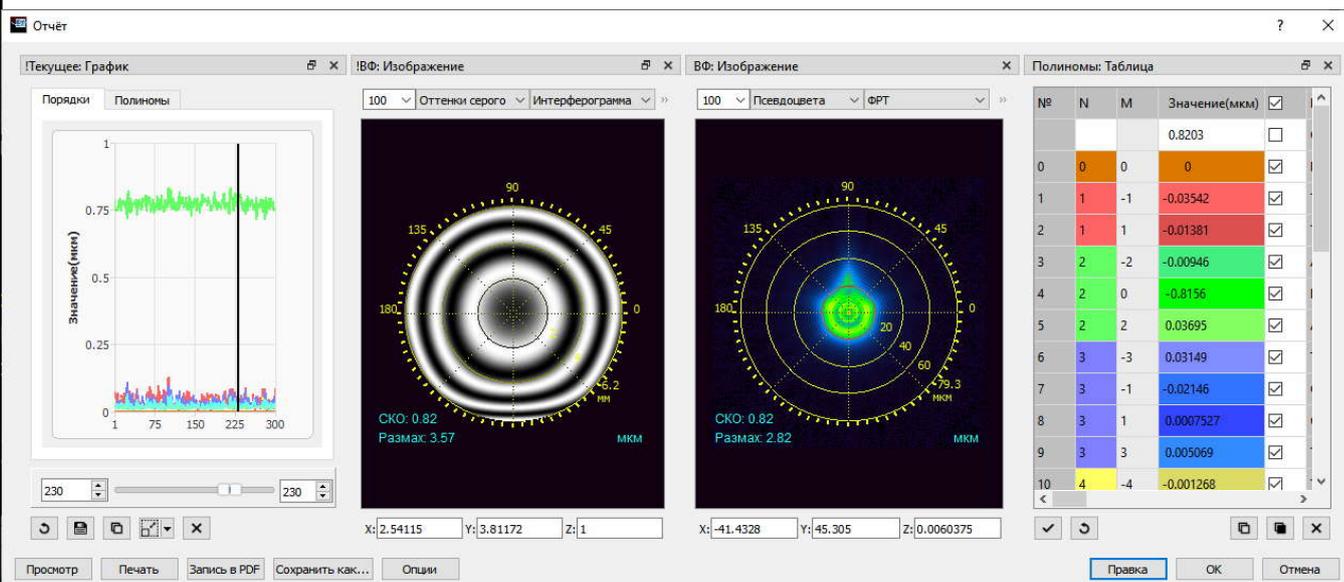


Рисунок 4.12.1. Окно **Отчёт**.

В данном случае в отчёт добавлены текущие данные измерений, ВФ (два раза) и таблица полиномов. Затем пользователь выбрал отображение ВФ как интерферограмму и ФРТ, а также настроил параметры отображения (цветовую гамму, сетку и т.п.). Именно эти данные попадут в документ отчёта. Занесенные данные и их настройки будут сохранены при выходе из Программы и в дальнейшем не будут требовать повторной настройки. Однако в любой момент пользователь может удалить, добавить или изменить отображение элементов отчёта.

Окно **Отчёт** содержит следующие элементы управления:

<b>Просмотр</b>	Открывает системную панель предварительного просмотра печати.
<b>Печать</b>	Открывает системную панель печати.
<b>Запись в PDF</b>	Открывает диалог выбора файла PDF. Также возможно создание файла в формате HTML.
<b>Сохранить как</b>	Открывает диалог выбора файла HTML.
<b>Опции</b>	Открывает диалог опций отчёта.
<b>Правка</b>	Открывает панель редактирования отчёта.
<b>Ок</b>	закрывает окно.
<b>Отмена</b>	закрывает окно.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

#### 4.12.2. Диалог опций отчёта

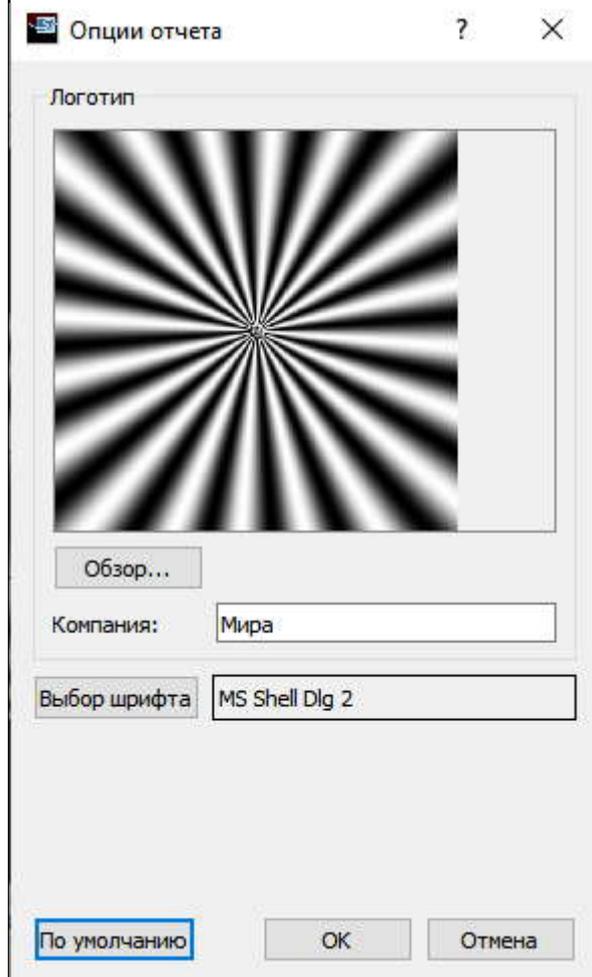


Рисунок 4.12.2. Окно **Опции отчёт**.

Диалог позволяет выбрать **Логотип** – изображение, которое будет добавляться в документ отчёта, название **Компании** – подпись к логотипу, и **Шрифт** документа.

Инва. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инва. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 4.12.3. Окно редактирования отчёта

Откройте окно **Редактирования** из основного меню Программы (п. 4.2.1.4.2.) или из окна **Отчёт** – кнопка **Правка**. Пример окна приведен на рис. 4.12.3.

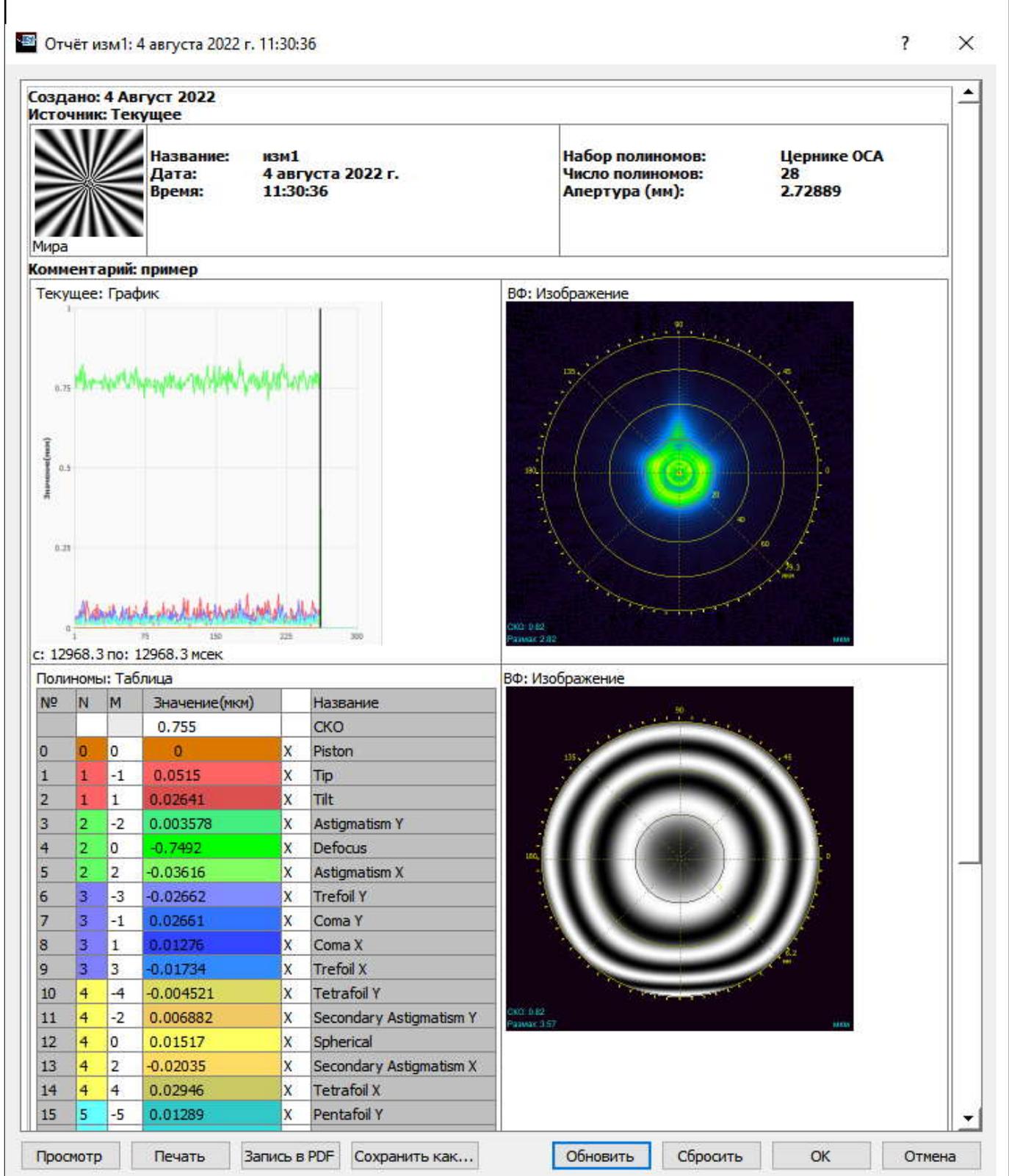


Рисунок 4.12.3. Окно **Редактирование отчёта**.

Окно содержит редактор документа отчета, а также элементы управления, рассмотренные ниже.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Документ содержит две таблицы.

Первая состоит из полей: логотипа с подписью (выбранных в диалоге **Опции отчёта**); название и дата\время измерения; набор полиномов и размер апертуры.

Далее идет поле комментария, введенного в **Панели управления** перед началом измерения (см. 4.4.1).

Во второй таблице помещаются отображения данных, помещенные в окно **Отчёта**. Порядок заполнения таблицы определяется порядком добавления данных.

Документ можно редактировать (копировать, вставлять, вырезать текст и картинки, печатать произвольный текст, переносить между другими редакторами и т.п.) – все изменения будут видны при печати или сохранении в файл PDF или HTML. Однако эти изменения не сохраняются при обновлении документа (кнопка **Обновить**) и при выходе из Программы.

Кнопка **Сбросить** очищает документ. После этого можно нажать кнопку **Обновить** для восстановления исходного содержимого.

Действие остальных кнопок такое же, как в окне **Отчёт** (см.4.12.1).

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 5. ПАНЕЛИ НАСТРОЕК ЗАГРУЖАЕМЫХ МОДУЛЕЙ

Загружаемые модули (динамические библиотеки) предоставляют свой графический интерфейс, доступный из панели Настройки/Устройства (см. 4.2.2.1). Приведенные ниже являются примером и могут отличаться от поставляемых.

### 5.1. Модуль ДВФ

Диалог доступен из раздела 4.3.2.1.

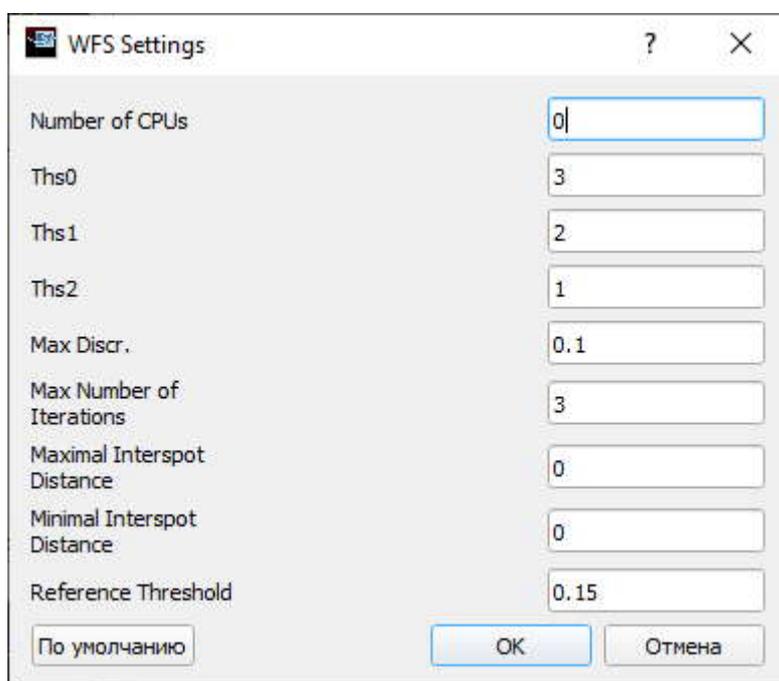


Рисунок 5.1. Диалог настроек модуля ДВФ.

Диалог содержит следующие элементы управления (частично аналогичны описанным в 4.3.4.):

**Number of CPUs** ограничивает число ядер процессора, используемых для обработки гартманнограмм (0 – на усмотрение Программы). Влияет на быстродействие Программы.

**Ths0-Ths2** параметры алгоритма определения центра пятна. Влияют на точность и скорость вычислений ВФ.

**Max Discr.** задает максимально допустимую погрешность определения центра пятна. Влияет на точность и скорость вычислений ВФ.

**Max Number of Iterations** задает максимальное число итераций поиска центра пятна. Влияет на точность и скорость вычислений ВФ.

**Maximal\ Minimal Interspot Distance** задают пределы размеров ячеек при обработке референсного изображения (в пикселах).

**Reference Threshold** уровень шума на референсном изображении. Влияет на поиск опорных точек и размер ячеек.

**По умолчанию** восстанавливает значения по умолчанию.

**ОК** применяет изменения и закрывает окно.

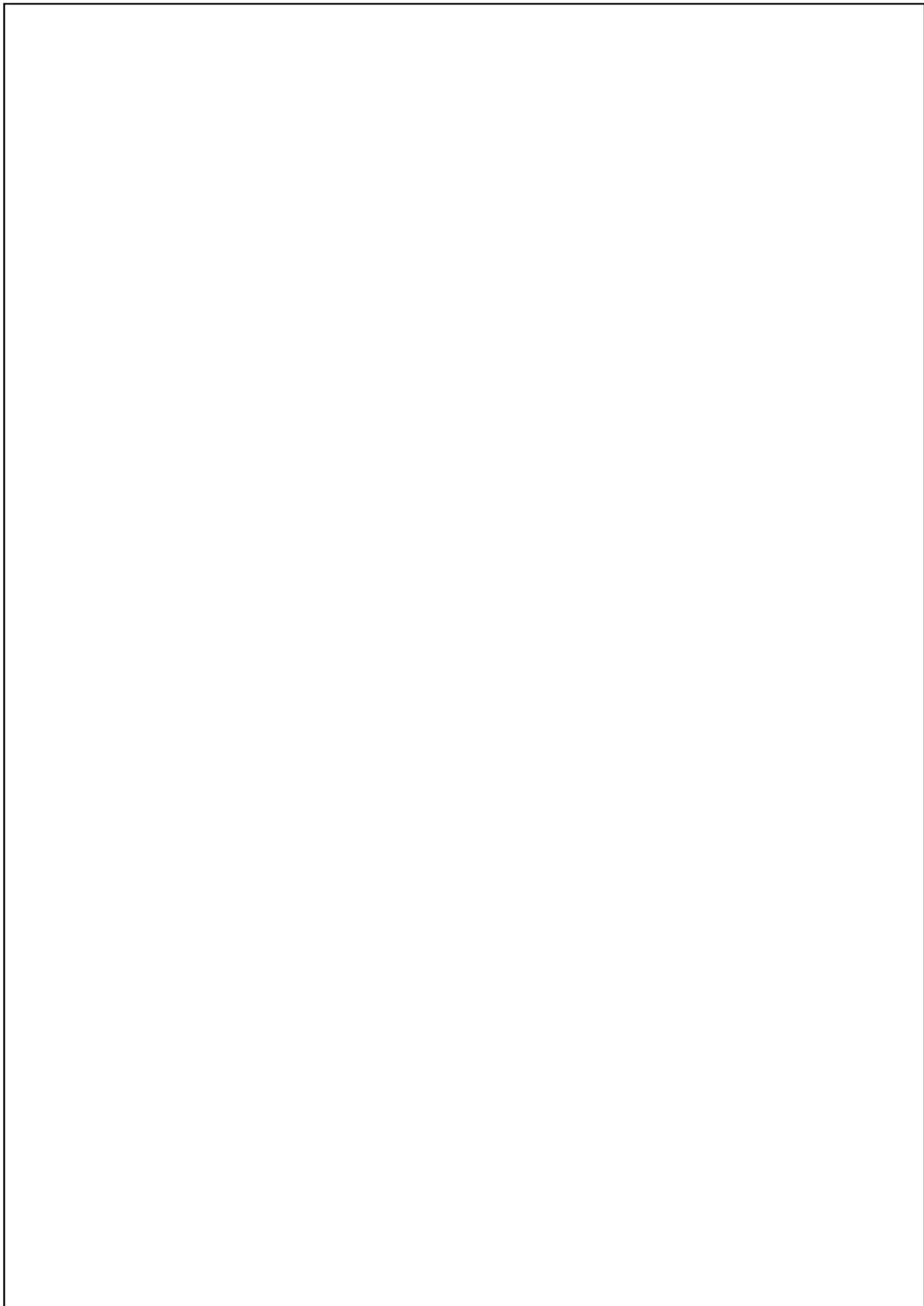
**Отмена** закрывает окно без применения изменений.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 5.2. Модуль камеры ДВФ

Диалог доступен из раздела 4.3.2.2. Быстрый вызов: клавиша F9.

Рисунок 5.2. Диалог настроек модуля камеры МИ ДВФ (на примере камер Allied Vision).

Диалог содержит следующие элементы управления:

**Заголовок #** название и номер устройства (камеры)

**X0, Y0, Width, Height** положение и размер кадра.

**Exposure** задает экспозицию камеры.

**Frequency** задает частоту камеры.

**Bit per Pixel** задает битность и упакованность кадра.

**HFlip. VFlip** задает отражение кадра по горизонтали и вертикали

соответственно.

**Stream Max Load** задает максимальную загрузку сетевого соединения (0 – нет ограничений).

**OK** применяет изменения и закрывает окно.

**Cancel** закрывает окно без применения изменений.

**Apply** применяет изменения.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 5.3. Модуль КВФ

Модуль КВФ предоставляет несколько диалогов настроек:

#### 5.3.1. Диалог Каналы КВФ

Диалог доступен из раздела 4.3.2.3. Быстрый вызов: сочетание клавиш Ctrl-M.

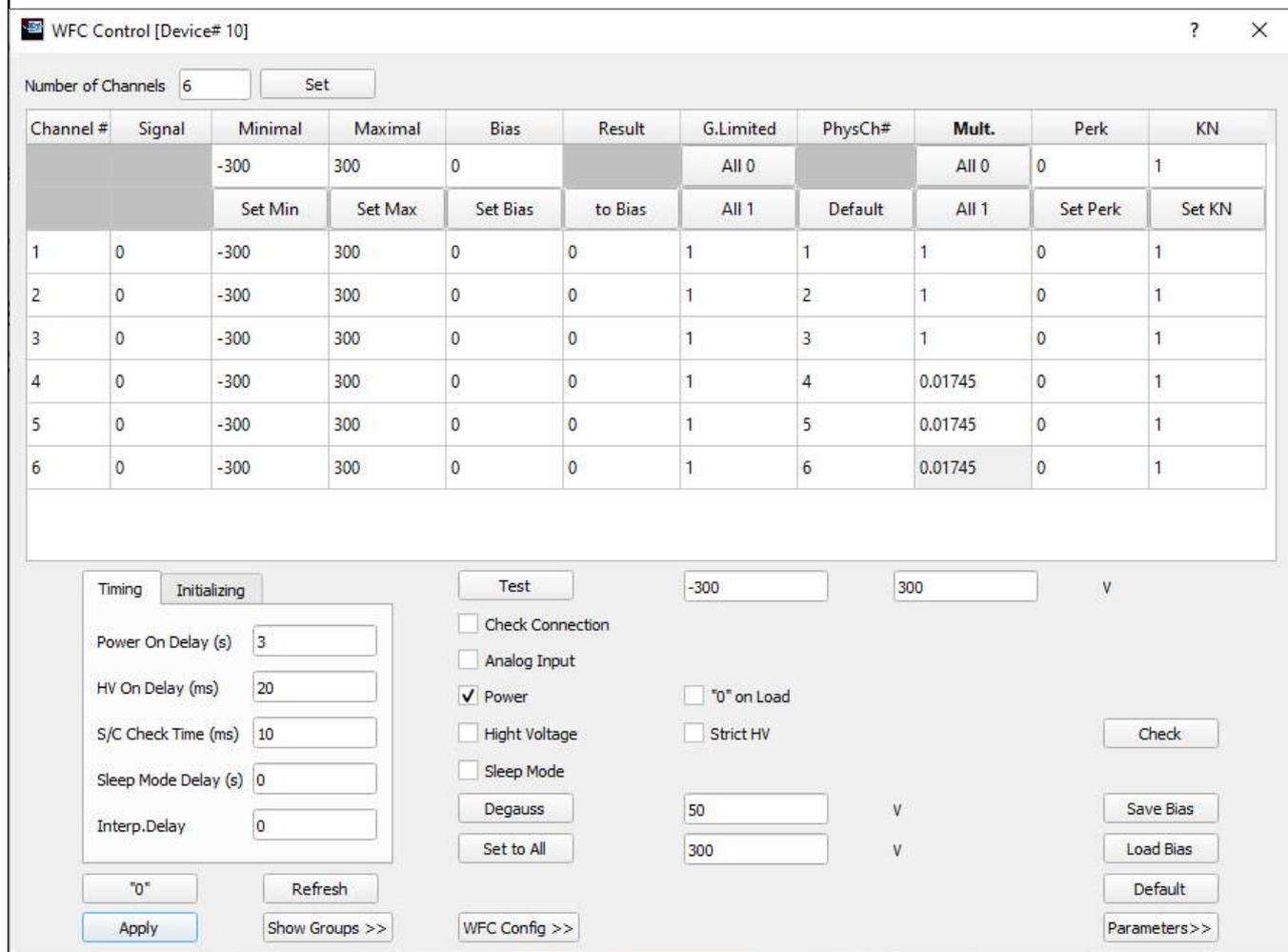


Рисунок 5.3.1. Каналы КВФ.

Содержит следующие элементы управления:

- Number of channels** отображает число каналов КВФ.
- Set** задает число канало КВФ (не следует менять число каналов).
- Signal** текущее значение переменной части сигнала управления (сигнал).
- Minimal** минимальное возможное значение сигнала управления.
- Maximal** максимальное возможное значение сигнала управления.
- Bias** текущее значение постоянной части сигнала управления (смещение).
- Result** результирующее значение сигнала управления в единицах, естественных для КВФ (мм для смещений, радианах для углов). Результирующее значение

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата  
Инв. № дубл.  
Взам. инв. №  
Подп. и дата  
Инв. № подл.

определяется формулой:  $Result = Mult * (min(max(Signal + Bias, Minimal), Maximal))$ .

**Mult.** множитель сигналов управления.

**Power** включает\выключает питание устройства.

**High Voltage** включает\выключает управление в непрерывном режиме (режиме ОС).

**“0” on Load** включает\выключает режим подачи состояния Signal=0 на все каналы при загрузке модуля.

**Strict HV** включает\выключает режим управления исключительно при включенном **High Voltage**.

**Save Bias** открывает диалог записи значений Смещений в файл.

**Load Bias** открывает диалог загрузки значений Смещений из файла.

**Default** восстанавливает значения по умолчанию.

**“0”** устанавливает все значения сигналов в 0.

**Refresh** обновляет отображаемые значения (в режиме замкнутой ОС содержимое таблицы не обновляется автоматически).

**Apply** применяет внесенные изменения и подает заданные сигналы.

**Show Groups** открывает диалог настройки Групп (см. 5.3.2).

**WFC Config** открывает диалог настройки Конфигурации (см. 5.3.3).

**Parameters** открывает диалог настройки Параметров (см. 5.3.4).

В случае непреднамеренного изменения других параметров, верните их значения к указанным на Рис. 5.3.1 или нажмите кнопку **Default**.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 5.3.2. Диалог Группы КВФ

Отображает весовые коэффициенты каналов, входящих в группы.

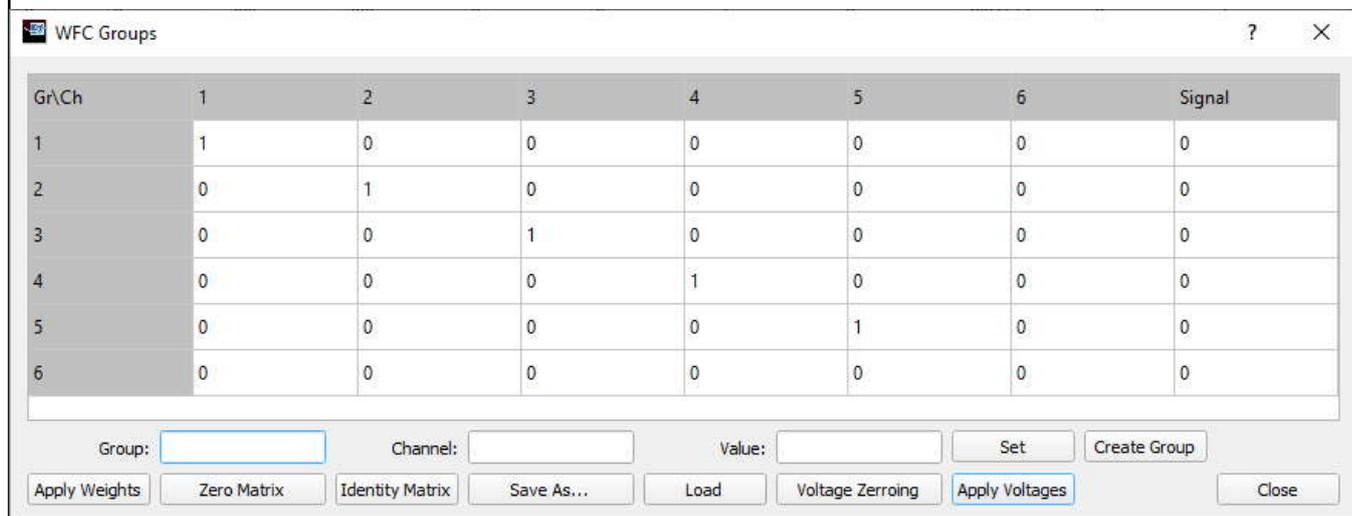


Рисунок 5.3.2. Группы КВФ.

Содержит следующие элементы управления:

**Gr\Ch** таблица весов групп. Таблица весов содержит редактируемые веса отдельных каналов, объединенных в группы. Веса — это произвольные реальные числа, которые служат множителями для вычисления сигнала в отдельном канале на основе информации о сигнале в группе. Общее число групп принимается равным количеству строк, содержащих по крайней мере одну отличную от нуля клетку. Максимальное число групп равняется количеству каналов.

**НЕ ДОЛЖНО БЫТЬ нулевых строк между ненулевыми строками!**

На рисунке 5.3.2. представлена типичная матрица весов для манипулятора шестистепенного «Гексапод» - задано 5 групп (6-ой канал – поворот вокруг оси Z не используется в ОС).

Самая крайняя правая колонка содержит сигналы, относящиеся к каждой группе.

- Group:** номер текущей группы
- Channel:** номер текущего канала
- Value:** значение в текущей ячейке
- Set** применить текущее значение
- Create Group** создать группу из текущих значений управляющих сигналов,

поданных на КВФ.

- Apply Weights** применить веса.
- Zero Matrix** сбросить все веса в 0.
- Identity Matrix** создать единичную матрицу.
- Save As** записать веса в файл.
- Load** загрузить веса из файла.
- Voltage Zerroing** обнулить все сигналы.
- Apply Voltages** применить заданные сигналы к группам.
- Close** закрыть это окно.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### 5.3.3. Диалог Конфигурация КВФ

Отображает конфигурацию каналов КВФ в графической форме. Пользователь может выбрать текущий канал, кликнув мышью на соответствующий элемент. Затем с помощью колесика мыши можно менять текущий сигнал на  $\pm 1$ . Зажав кнопку Ctrl можно менять сигнал на  $\pm 10$ .

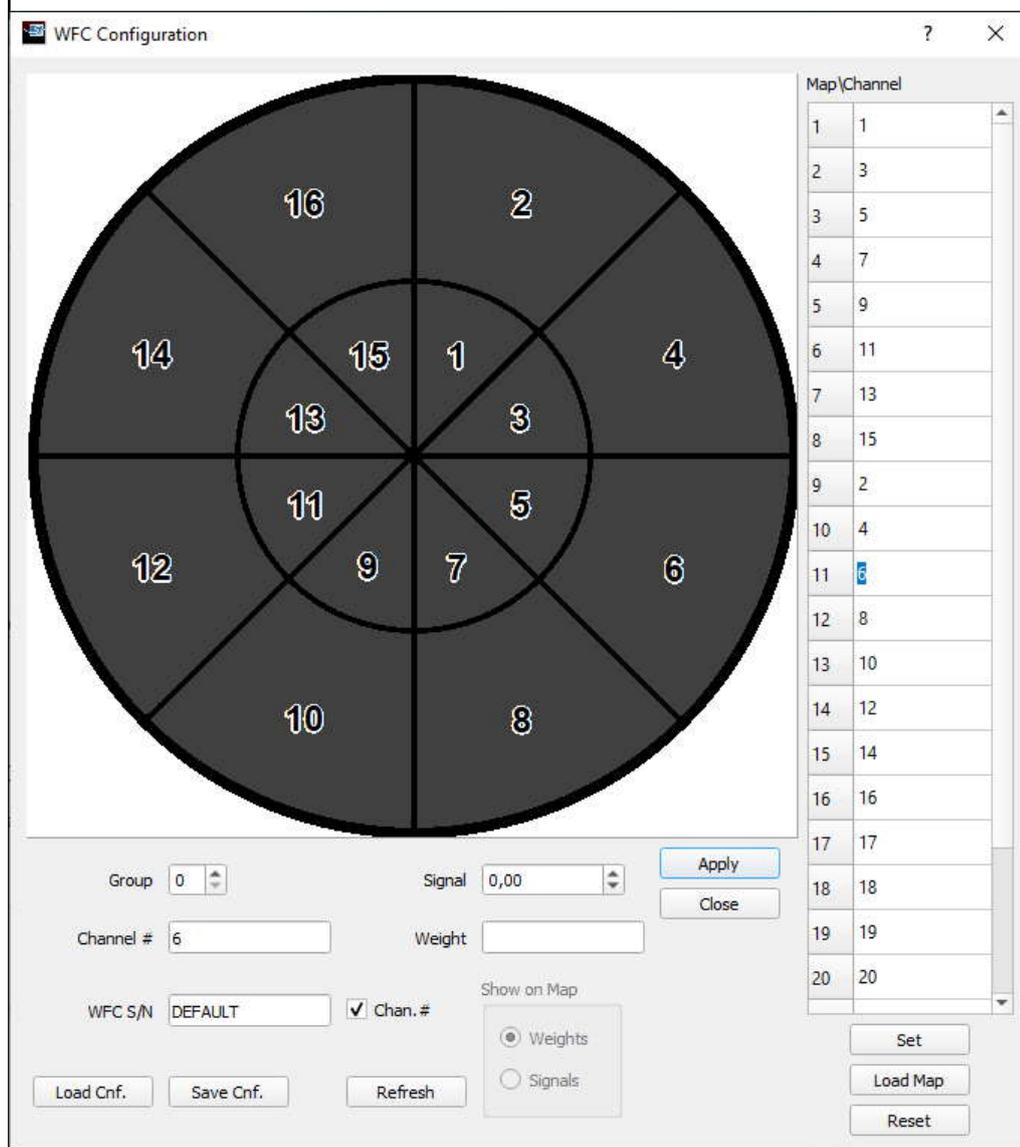


Рисунок 5.3.3. Конфигурация КВФ .

Содержит следующие элементы управления:

- Group** отображает номер группы. Если в этом поле 0, отображаются сигналы на каналах. Если номер больше 0, отображаются веса каналов.
- Signal** текущий сигнал.
- Channel #** текущий канал.
- Weight** текущий вес (вес выбранного канала в выбранной группе).
- WFC S/N** название конфигурации КВФ.
- Chan. #** если помечено, выводит номера каналов.
- Load Cnf.** загрузить конфигурацию из файла.
- Save Cnf.** записать конфигурацию в файл.
- Refresh** обновить данные.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

**Show on Map**      показывать на карте каналов веса либо сигналы.  
**Apply**              применить изменения.  
**Close**                закрыть это окно.

Следующие элементы управления не видны по умолчанию. Чтобы их открыть, кликните левой кнопкой мыши в поле схемы конфигурации, удерживая кнопку Shift. **Эти настройки задаются производителем – не рекомендуется их менять без консультации с производителем КВФ или разработчиком ПО.**

**Map\Channel**      таблица соответствия номеров каналов на схеме и в КВФ.  
**Set**                  применить скрытые параметры.  
**Load Map**         загрузить схему каналов.  
**Reset**                сбросить таблицу соответствия.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 5.3.4. Диалог Параметры КВФ

Окно Параметры КВФ содержит специфические настройки КВФ.

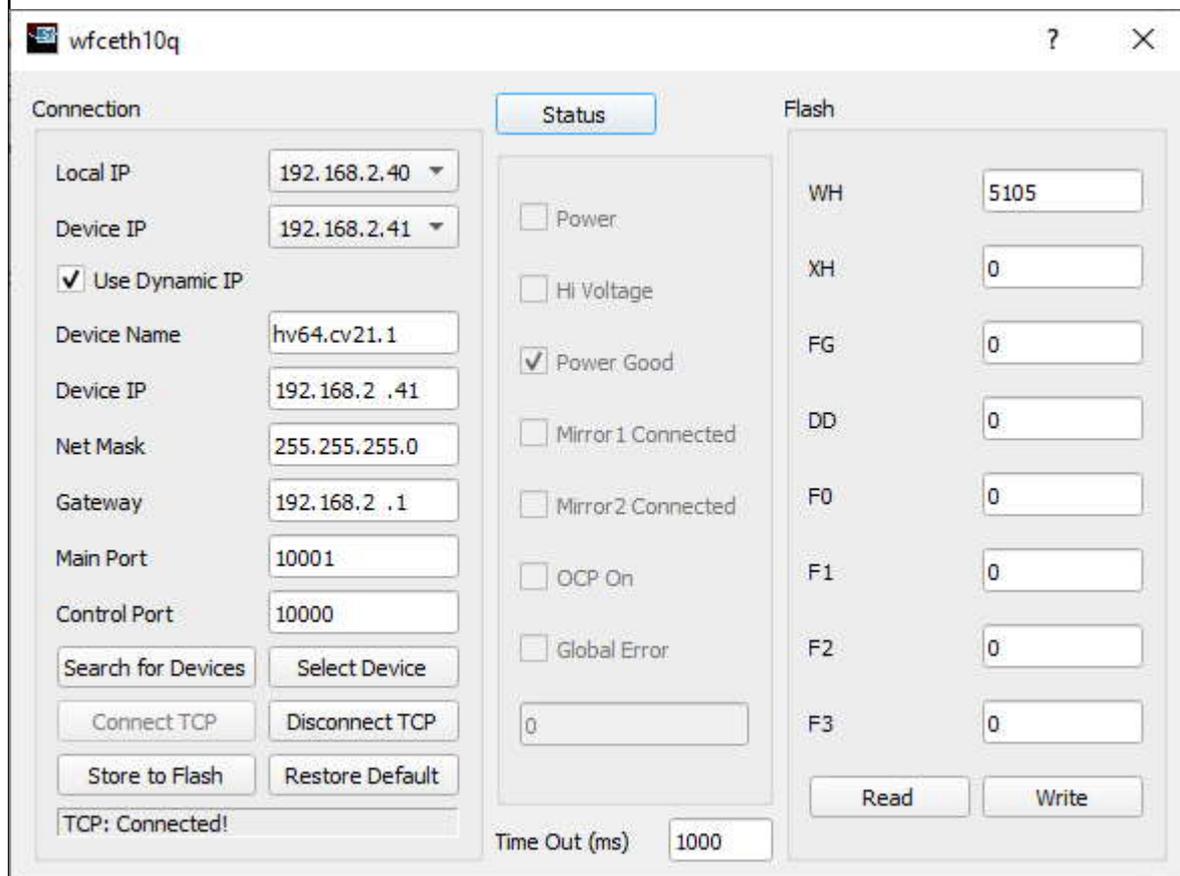


Рисунок 5.3.4. Параметры КВФ (на примере КВФ Pad 300).

Содержит следующие элементы управления:

- Device IP** задает IP адрес устройства
- Local IP** задает IP адрес компьютера
- Use Dynamic IP** нажмите для проверки доступности устройства
- Device Name** должно содержать начало внутреннего имени устройства (hv64.cv21.)
- Main, Control Port** задает номера портов устройства (не рекомендуется менять без согласования с производителем).
- Search for Devices** нажмите для поиска устройства
- Select Device** выберите устройство из списка (если подключено несколько однотипных устройств) и нажмите эту кнопку. После этого поля сетевых настроек будут заполнены.
- Connect TCP** нажмите для подключения к устройству
- Disconnect TCP** нажмите для отключения от устройства
- Status** нажмите для опроса устройства
- Flash** нажмите для опроса встроенной памяти устройства.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## 6. ПРИНЦИП РАБОТЫ ДАТЧИКА ШаГ-25020

Принцип работы датчика Шака-Гартманна освещен во многих публикациях, например в [4], и может быть объяснен с помощью основных законов геометрической оптики. Исследуемый волновой фронт проецируется на матрицу микролинз (lenslet) (см рис.6.1). На каждую микролинзу проецируется определенная часть волнового фронта, получаемого от полной апертуры (так называемая субапертура), и в фокальной плоскости микролинзы формируется световое пятно. В фокальной плоскости матрицы микролинз обычно располагается ПЗС камера и информация обо всех фокальных точках сразу же поступает на ПЗС матрицу камеры.

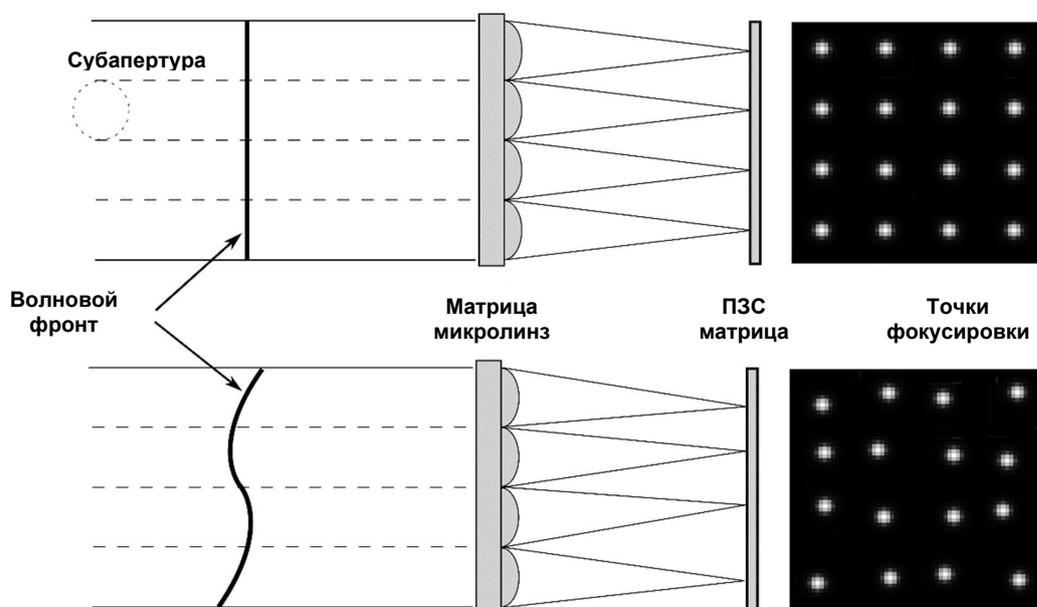


Рисунок 6.1 Принцип действия современного датчика Шака – Гартмана.

Расположение фокального пятна напрямую связано с локальным наклоном анализируемого волнового фронта, усредненного по субапертурам. В случае плоского приходящего волнового фронта (так называемого опорного волнового фронта) все точки фокусировки выстраиваются в регулярную сетку, геометрия которой определяется геометрией матрицы микролинз. Если приходящий волновой фронт искажен (не является плоским), тогда точки фокусировки смещаются относительно своего регулярного положения в узлах сетки (полученного от опорного фронта). Смещения точек фокусировки в двух ортогональных направлениях пропорциональны среднему по субапертурам

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

наклону волнового фронта. Таким образом, с помощью ДВФ Шака-Гартмана можно измерить волновой фронт.

Предположим, мы имеем  $N$  субапертур, пронумерованных от 1 до  $N$ , и координаты опорных точек (центров точек фокусировки), обозначим их  $\{x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0N}\}$  и  $\{y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0N}\}$ . Для произвольного волнового фронта  $W(x, y)$ , имеющего абберации, имеем набор координат центров точек фокусировки  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  и  $\{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ . Текущие наклоны волнового фронта могут быть легко рассчитаны:

$$\alpha_i = \frac{x_i - x_{0i}}{f}, \quad \beta_i = \frac{y_i - y_{0i}}{f}, \quad i = 1 \dots N \quad (1)$$

где  $f$  – фокусное расстояние матрицы микролинз. С помощью идеально измеренных наклонов можно оценить градиенты волнового фронта в центрах субапертур:

$$\nabla W(x_{0i}, y_{0i}) = i \frac{\rho \partial W}{\partial x} + j \frac{\rho \partial W}{\partial y} \approx \frac{2\pi}{\lambda} (i \alpha_i + j \beta_i) \quad (2)$$

где  $\lambda$  - длина волны падающего света. Используя массивы данных об измеренных наклонах, можно численно восстановить исследуемый волновой фронт (см. ниже).

## 6.1 Вычисление координат центров точек фокусировки

Расположение фокальных точек обычно определяется с помощью так называемого алгоритма центра масс. В соответствии с этим алгоритмом координаты  $i$ -ой точки фокусировки вычисляются по формулам:

$$x_i = \frac{\sum_{x_{ik} \in A_i} x_{ik} \tilde{I}_{ik}}{\sum_{x_{ik} \in A_i} \tilde{I}_{ik}}, \quad y_i = \frac{\sum_{y_{ik} \in A_i} y_{ik} \tilde{I}_{ik}}{\sum_{y_{ik} \in A_i} \tilde{I}_{ik}}, \quad (3)$$

где  $\tilde{I}_{ik}$  - модифицированное распределение интенсивности по области  $A_i$ , относящейся к  $i$ -й микролинзе.

Алгоритм пересчета модифицированного распределения  $\tilde{I}_{ik}$  из исходного распределения интенсивности  $I_{ik}$  зависит от условий измерений. Если, к примеру,

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

уровень интенсивности низкий, и распределение  $I_{ik}$  зашумлено (деформировано пиками), тогда необходима процедура сглаживания. Обычно для вычитания шумового пьедестала также используется пороговый алгоритм (рис.6.1.1) или другие алгоритмы [5].

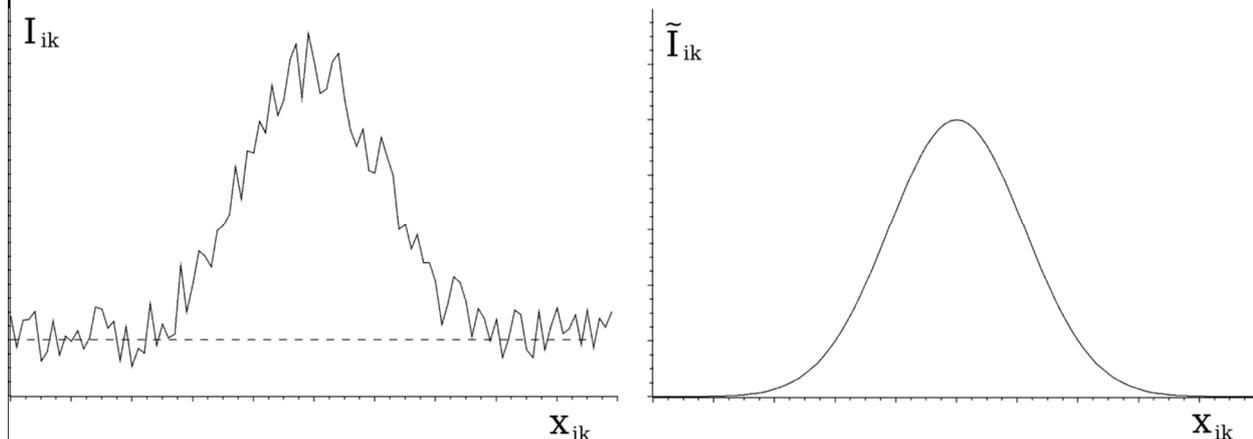


Рисунок 6.1.1 Пример вычисления модифицированного распределения: сглаживание и вычитание уровня шума.

## 6.2 Восстановление волнового фронта

Проведя достаточно большое количество измерений локальных наклонов волнового фронта, можно численно восстановить форму поверхности волнового фронта с помощью одного из двух методов, кратко описанных ниже. Предварительно заметим, что применение любого из описанных ниже методов позволяет восстановить форму волнового фронта с точностью до константы (средняя фаза по полной апертуре), которая не несет полезной информации для задач обработки изображений.

### 6.2.1 Восстановление волнового фронта на апертурной сетке

Первый метод, описанный в [5,6], использует метод конечных дифференциалов, а также метод наименьших квадратов. Этот метод позволяет восстановить волновой фронт в узлах дискретной сетки. Узлы этой сетки совпадают с центрами субапертур матрицы микролинз.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал



### 6.3 Точность измерений волнового фронта

На точность измерений волнового фронта датчиком Шака-Гартмана оказывают влияние многие источники ошибок. Основные из них те, которые не могут быть устранены никакими приемами:

- Ошибки дискретизации из-за конечного размера отдельной микролинзы в матрице.
- Шум датчика изображения, нелинейность, дискретность и неоднородность интенсивности.
- Ошибки алгоритма восстановления.

Прежде чем анализировать эти источники ошибок необходимо упомянуть о том, что основным преимуществом ДВФ Шака-Гартманна является его нечувствительность к механическим вибрациям. Можно достичь достаточно малых времен экспозиции, если использовать современные ПЗС камеры

#### 6.3.1 Ошибки дискретизации

Ключевым требованием к надежным измерениям волнового фронта является требование, чтобы по каждой субапертуре единственным искажением волнового фронта был локальный наклон. Пространственное разрешение ДВФ Шака-Гартманна равно размеру отдельной микролинзы (субапертуры) в матрице микролинз. Искажения волнового фронта меньшего размера не чувствуются датчиком (рис.6.3.1). Так или иначе, их влияние на сигнал датчика волнового фронта проявляется в появлении так называемой ошибки шумов дискретизации. Значения ошибок дискретизации зависят от геометрии маски и природы волнового фронта.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

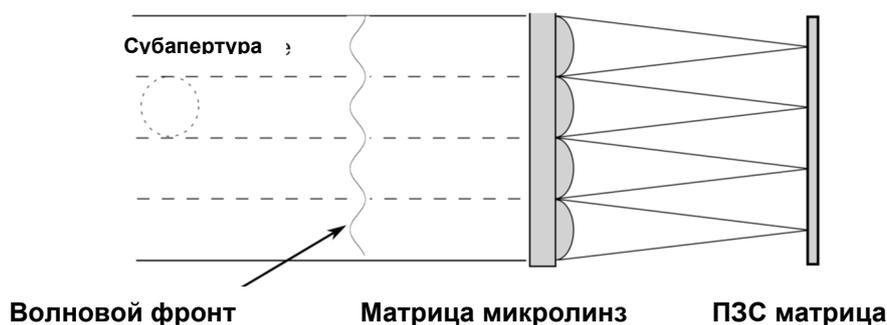


Рисунок 6.3.1. Пример волнового фронта, который измеряется неверно

### 6.3.2 Шумы датчика изображения

Так же, как и ошибки дискретизации, шумы датчика изображения являются одним из основных факторов, устанавливающих ограничение на точность измерений с помощью ДВФ Шака-Гартмана. Ошибки вычисления наклонов волнового фронта с помощью уравнения (3) зависят от интенсивности падающего пучка света. В случае низкой интенсивности фокальные пятна на ПЗС матрице имеют низкий контраст, и наклоны вычисляются с помощью алгоритма центров масс с меньшей точностью, что приводит к общим ошибкам измерения волнового фронта. Распределение интенсивности по фокальному пятну от отдельной субапертуры может рассматриваться как распределение плотности вероятности попадающих на ПЗС матрицу фотонов. Следовательно, каждый попадающий на матрицу фотон позволяет определить положение изображения с угловой погрешностью [11] (для точечных источников света и дифракционно-ограниченного размера пятна):

$$\sigma_a = \frac{\lambda}{d}, \quad (5)$$

где  $d$  – диаметр субапертуры.

Если в течение времени экспозиции детектируются  $n$  фотонов, то фотонная ошибка определения положения центра масс становится равной  $\frac{\sigma_a}{\sqrt{n}}$ , такой же, как при последовательном проведении  $n$  измерений.

Малое количество попадающих на ПЗС фотонов является ключевой проблемой для астрономической адаптивной оптики [11, 12]. Поток фотонов пропорционален квадрату

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

размера субапертуры  $d$ . Это означает, что для данного  $\sigma_a$  фотонная ошибка ДВФ Шака-Гартманна не зависит от размеров его субапертур. Такое заключение применимо только к идеальному детектору, в реальных астрономических системах для слабосветящихся источников света используются большие субапертуры.

### 6.3.3 Ошибки восстановления волнового фронта

Полная ошибка восстановления волнового фронта пропорциональна  $\sigma_a^2$  с коэффициентом, называемым распространение шума. К счастью, коэффициент распространения шума для ДВФ Шака-Гартманна имеет значение порядка 1 и медленно возрастает с увеличением числа субапертур [11, 12, 13].

### 6.3.4. Другие источники ошибок

Кроме основных факторов, описанных в предыдущих пунктах, на точность измерений с помощью ДВФ Шака-Гартманна влияют еще некоторые дополнительные источники ошибок: аберрации передающей оптики, ошибки в геометрии матрицы микролинз, отклонения в расстоянии между матрицей микролинз и ПЗС камерой, а также различие в плотностях пикселей ПЗС камеры по X и Y направлениям.

Ошибки в геометрии матрицы микролинз ДВФ Шака-Гартмана обычно пренебрежимо мало из-за использования метода высокоточной литографии при производстве матриц микролинз. Один из неожиданных источников ошибок – неточность геометрии ПЗС матрицы. Некоторые современные ПЗС матрицы с квадратными пикселями имеют различие до 0.25% между плотностями пикселей по X и Y направлениям. Если не учитывать эти погрешности, то в восстановленном волновом фронте получаем дополнительный астигматизм. Как правило, избежать этих погрешностей можно путем проведения специальных калибровочных измерений, как для оптической части, так и для управляющего программного обеспечения.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 6.4 Схемы контроля оптических поверхностей

Оптическая установка для тестирования оптических компонентов с помощью датчика волнового фронта Шака-Гартмана должна удовлетворять следующим требованиям:

- Передающая оптика должна перенести плоскость изображения объекта в плоскость матрицы микролинз.
- Схема должна обеспечить такое масштабирование пучка, чтобы изображение масштабированного объекта (волнового фронта) было плотно заполнено субапертурами датчика Шака-Гартмана.
- Оптическая схема должна допускать возможность ее калибровки. В общем случае процесс калибровки состоит из независимых измерений полных aberrаций установки с идеальным объектом или источником идеального волнового фронта

Некоторые типовые схемы измерений приведены ниже.

### 6.4.1 Тестирование прозрачных оптических объектов

Типовая оптическая установка для изучения свойств пропускающей оптики показана на рис. 6.4.1. Тестируемый объект помещается в тракт коллимированного лазерного пучка. Телескопическая система, состоящая из двух линз  $L_1$  и  $L_2$ , используется для переноса изображения апертуры объекта на матрицу микролинз датчика волнового фронта.

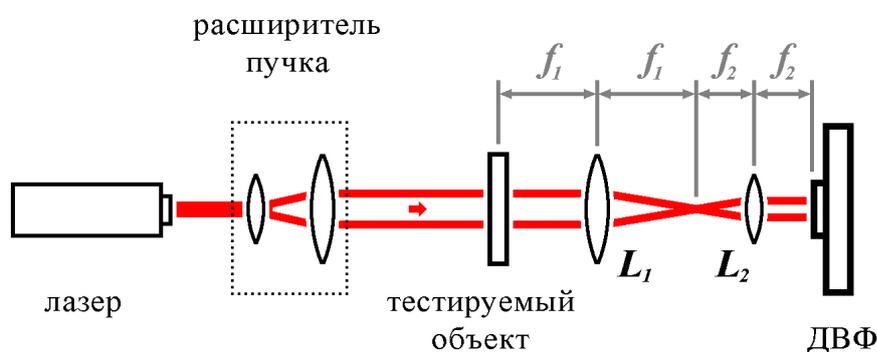


Рисунок 6.4.1 Оптическая установка для тестирования прозрачных оптических объектов

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

Эта система масштабирует измеряемую область до размера апертуры датчика волнового фронта, коэффициент масштабирования равен  $f_1/f_2$  где  $f_1, f_2$  - фокусные расстояния линз L1 и L2 соответственно.

Хотя ДВФ Шака-Гартмана позволяет проводить абсолютные измерения волнового фронта без опорного источника, для точных измерений желательно переключиться в опорную моду. Это позволит избавиться от aberrаций передающей оптики, которые всегда присутствуют в силу неидеальности и неточности в юстировке системы. Опорную картину можно получить, вынимая исследуемый объект из оптического тракта установки.

### 6.4.2 Тестирование отражающей оптики

Типовая оптическая схема установки для измерения отражающей оптики представлена на рис.6.4.2.

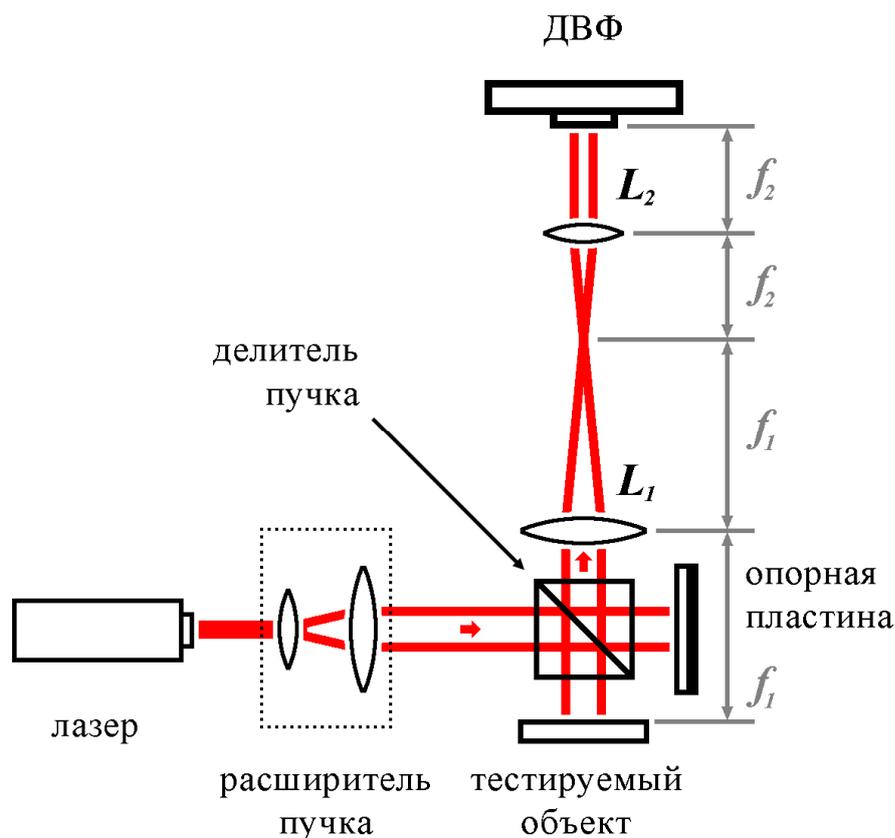


Рисунок 6.4.2 Схема тестирования отражающей оптики

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

Для облегчения калибровки удобно построить схему, аналогичную схеме интерферометра Тваймана-Грина [14], в которой делитель пучка разводит падающий пучок на два плеча. Объект помещается в первое плечо за делителем пучка, а опорный объект (обычно это высококачественное плоское или сферическое зеркало) – во второе плечо. Пучки, отраженные от объекта и опорного объекта, направляются на датчик волнового фронта. Телескопическая система, аналогичная приведенной (рис.6.4.1) используется для согласования апертуры объекта с апертурой датчика волнового фронта прямым масштабированием. Одно из плеч всегда должно быть заблокировано: первое плечо для измерений опорного эталона, а второе - для тестирования исследуемого объекта.

### 6.4.3 Тестирование сферической и асферической оптики

Основная идея тестирования сферической и асферической оптики основана на относительном методе измерений. В этих случаях мы тестируем не волновой фронт, отраженный или прошедший непосредственно через элемент, а волновой фронт, полученный от комбинации тестируемого элемента и некоторого элемента-компенсатора (или набора элементов) с известными калиброванными aberrациями [14]. Некоторые из этих комбинаций коротко освещены ниже, и их можно поместить в тестовое плечо (рис.6.4.2).

Протестировать собирающую линзу можно при помощи схем, представленных на рис.6.4.3.1.

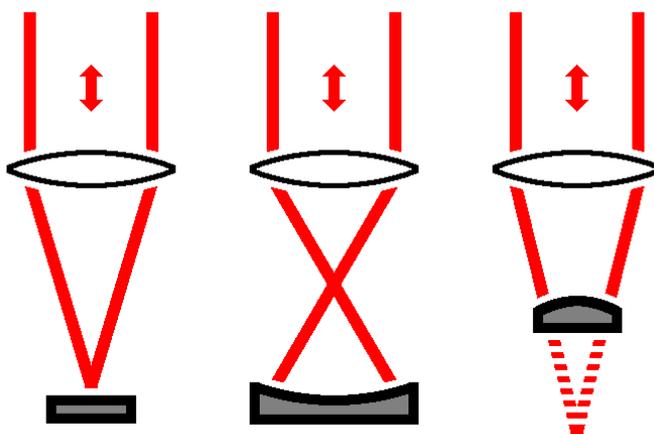


Рисунок 6.4.3.1 Оптическая схема для тестирования собирающих линз

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ив. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

Выпуклое сферическое зеркало с центром кривизны в фокусе линзы используется для линз с большими фокальными расстояниями, а вогнутое сферическое зеркало – для линз с короткими фокусными расстояниями. В фокус линзы можно поместить плоское зеркало малого диаметра для улучшения эффективности. Площадь рабочей поверхности у плоского зеркала мала, поэтому не нуждается в очень точной подготовке. При использовании этого метода мы можем избежать асимметричных aberrаций и работать только с симметричными, такими как сферическая aberrация и астигматизм.

Схема тестирования короткофокусных объективов (например объективов микроскопов) (рис.6.4.3.2.) по сути такая же, как для исследования линз, но из-за короткофокусности объектива выпуклое зеркало не может быть использовано. Так как рабочая длина микроскопа ограничена длиной патрубков в схеме добавляется отрицательная линза, которая должна быть скорректирована для сферических aberrаций. Как показано на рисунке, для тестирования объектива могут быть использованы несколько схем, но все они имеют сферическое вогнутое зеркало с центром кривизны в фокусе объектива.

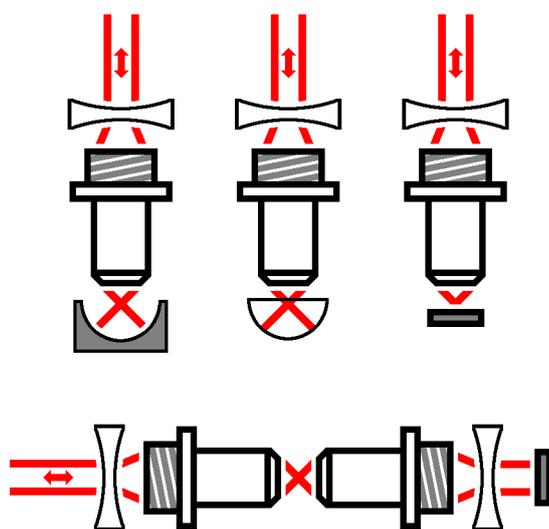


Рисунок 6.4.3.2. Оптическая схема исследования объектива микроскопа

Для имитации покрывного стекла можно использовать сферический отражатель. Для поворота волнового фронта на 180 градусов можно в фокус объектива поместить плоское зеркало. Четвертая схема на рис.6.4.3.2. состоит из двух микрообъективов, расположенных друг напротив друга. В этом случае измеряются суммарные aberrации

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

двух объективов. При больших значениях aberrаций лучшей схемой является система Дайсона (Dyson) [14].

Схематическая диаграмма для тестирования сферических зеркал показана на рис.6.4.3.3.

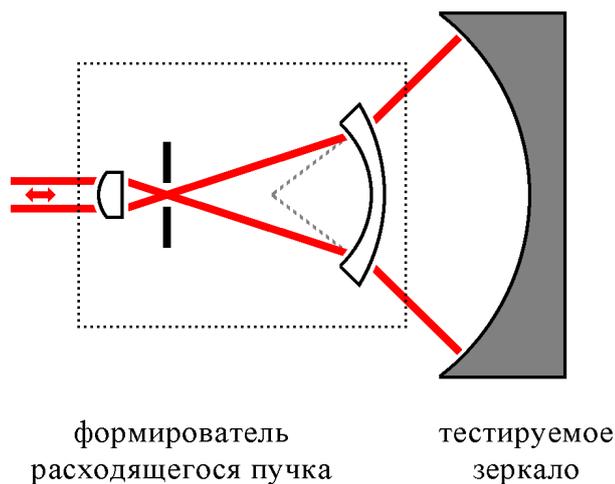


Рисунок 6.4.3.3. Оптическая схема тестирования сферических зеркал

Перед тестируемым зеркалом помещается двухлинзовый формирователь сферического волнового фронта. Он сделан из стекла с высоким коэффициентом преломления, все поверхности сферические. Для тестирования асферического элемента можно использовать нулевую линзу в комбинации с формирователем расходящегося пучка, эта линза располагается как показано на рисунке 6.4.3.4.

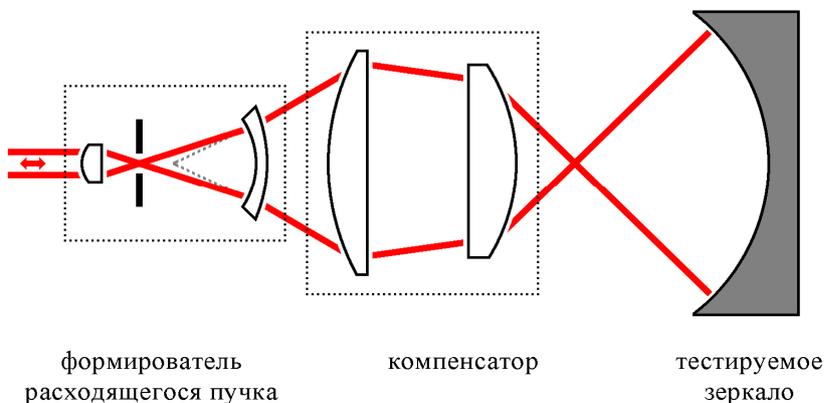


Рисунок 6.4.3.4 Оптическая схема тестирования асферической оптики

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 6.5 ДФВ в системе с замкнутой обратной связью. ПИД – регуляторы.<sup>1</sup>

Полная задержка при измерении волнового фронта ДФВ складывается из времени регистрации кадра, времени передачи кадра в вычислитель и времени расчета управляющих воздействий.

Для вычисления сигнала управления по данным измерений датчика волнового фронта были использованы различные алгоритмы на основе пропорционально-интегро-дифференциального (ПИД) регулятора.

### 6.5.1. Пропорционально-интегро-дифференциальные (ПИД) - регуляторы

Классическая схема управления с единичной отрицательной обратной связью показана на рисунке 6.5.1.:

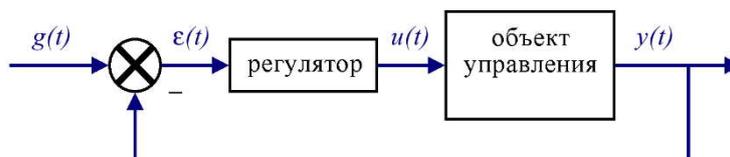


Рисунок 6.5.1. Блок-схема управления с отрицательной обратной связью.

Назначение регулятора системы заключается в коррекции динамических свойств объекта управления с помощью управляющего сигнала  $u(t)$  так, чтобы реальный выходной сигнал  $y(t)$  как можно меньше отличался от желаемого выходного сигнала  $g(t)$ . Регулятор вырабатывает управление, используя ошибку регулирования  $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$ .

Для оценки динамических свойств системы часто рассматривается реакция на единичное ступенчатое воздействие. Переходный процесс должен отвечать заданным показателям качества, к которым относятся время переходного процесса, перерегулирование и колебательность. Могут быть также использованы интегральные оценки качества переходного процесса.

<sup>1</sup> Доступно в расширенной версии ПО

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

ПИД - регуляторы (ПИД – пропорционально–интегро-дифференциальный) получили самое широкое распространение при управлении производственными и технологическими процессами. Основное уравнение ПИД - регулятора имеет следующий вид:

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + k_i \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + k_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (1)$$

где  $k_p, k_d, k_i$  – константы, выбираемые в процессе проектирования. С их помощью удается обеспечить соизмеримость отдельных слагаемых формулы (1).

Дифференциальная составляющая в формуле (1) позволяет повысить быстродействие регулятора, предсказывая будущее поведение процесса. Интегральная составляющая в формуле (1) призвана ликвидировать статические ошибки управления, поскольку интеграл даже от малой ошибки может быть значительной величиной, вызывающей реакцию регулятора.

Хотя ПИД - регулятор представляет собой систему второго порядка, его можно успешно применять для управления процессами, имеющими более высокий порядок. Это вызвано возможностью аппроксимации многих систем высокого порядка системами второго порядка.

На практике часто используются упрощенные версии ПИД регулятора – П-, И-, ПД- и ПИ-регуляторы, описываемые соответственно формулами:

$$u(t) = k_p \varepsilon(t); \quad (2)$$

$$u(t) = k_i \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau; \quad (3)$$

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + k_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}; \quad (4)$$

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + k_i \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

При большом значении коэффициента усиления П- и ПИ - регуляторы ведут себя как двухпозиционное реле.

Существует инженерный подход к синтезу ПИД - регуляторов – методика Циглера – Николса [15], которая предполагает следующие шаги:

1. Коэффициенты  $k_d$  и  $k_i$  устанавливаются равными нулю, а коэффициент  $k_p$  увеличивается до тех пор, пока система не потеряет устойчивость.
2. Предельное значение  $k_p$  обозначается как  $k_u$ , а период автоколебаний как  $p_u$ .
3. Значения коэффициентов ПИД - регулятора рассчитываются по следующим формулам:

$$\begin{cases} k_p = 0.6k_u; \\ k_i = 1.2(k_u / p_u); \\ k_d = 3k_u p_u / 40. \end{cases} \quad (6)$$

В аналоговых промышленных ПИД - регуляторах коэффициенты настраиваются вручную.

Следует заметить, что коэффициент  $K$ , от которого строится корневой годограф, соответствует, по сути, П- регулятору. Процесс построения корневого годографа нескорректированной системы можно рассматривать как одновременный синтез этой системы с использованием П- регулятора.

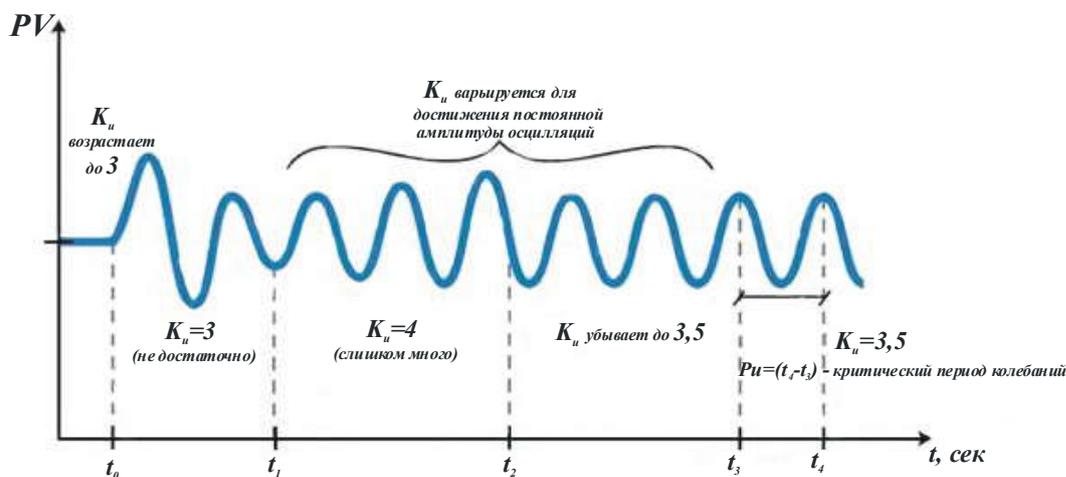


Рисунок 6.5.1. Метод Циглера-Николса.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 6.5.2. Цифровая реализация ПИД – регулятора.

В системах автоматического регулирования управляющее устройство является регулятором, реализующим закон регулирования, который устанавливает зависимость между управляющим воздействием  $U$  и ошибкой (рассогласованием)  $\Delta$ , т.е.  $U = f(\Delta)$ .

В непрерывных системах широко используются пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы, которые представляются следующим идеализированным уравнением:

$$U = K \left[ \Delta(t) + \frac{1}{T_1} \int_0^t \Delta(t) dt + T_2 \frac{d\Delta(t)}{dt} \right] \quad (7)$$

где  $K$  - коэффициент передачи,  $T_1$  - постоянная интегрирования,  $T_2$  - постоянная дифференцирования.

Для малых периодов дискретизации  $T$  это уравнение может быть преобразовано в разностное с помощью дискретизации, заключающейся в замене производной разностью первого порядка, а интеграла - суммой. Непрерывное интегрирование может быть представлено с помощью метода прямоугольников или трапеций. При использовании метода прямоугольников уравнение (7) в дискретной форме записывается в следующем виде:

$$U(k) = K \left\{ \Delta(k) + \frac{T}{T_1} \sum_{i=0}^k \Delta(i-1) + \frac{T_2}{T} [\Delta(k) - \Delta(k-1)] \right\} \quad (8)$$

В результате получим нерекуррентный алгоритм управления, в котором для вычисления суммы необходимо помнить все предыдущие значения сигнала ошибки  $\Delta(k)$ . Поскольку каждый раз значение управляющего сигнала  $U(k)$  вычисляется заново, этот алгоритм получил название позиционного.

Для реализации программ закона регулирования на ЭВМ более удобным является рекуррентный алгоритм. Этот алгоритм характеризуется тем, что для вычисления

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

текущего значения управляющего сигнала  $U(k)$  используется его предыдущее значение  $U(k-1)$  и поправочный коэффициент.

Для формирования рекуррентного алгоритма необходимо из сигнала  $U(k)$  вычесть сигнал  $U(k-1)$ . Сигнал  $U(k-1)$  описывается следующим уравнением:

$$U(k-1) = K \left\{ \Delta(k-1) + \frac{T}{T_1} \sum_{i=0}^{k-1} \Delta(i-1) + \frac{T_2}{T} [\Delta(k-1) - \Delta(k-2)] \right\} \quad (9)$$

В результате вычитания из уравнения (8) и уравнения (9) получим:

$$U(k) - U(k-1) = g_0 \Delta(k) + g_1 \Delta(k-1) + g_2 \Delta(k-2) \quad (10)$$

$$g_0 = K \left( 1 + \frac{T_2}{T} \right); \quad (11)$$

$$g_1 = -K \left( 1 + 2 \frac{T_2}{T} - \frac{T}{T_1} \right); \quad (12)$$

$$g_2 = K \frac{T_2}{T}. \quad (13)$$

В результате вычисляется только текущее приращение управляющего сигнала  $U(k) - U(k-1)$ , и поэтому данный алгоритм называется скоростным.

Если для аппроксимации непрерывного интеграла использован метод трапеций, то из уравнения (3.1) получим следующее разностное уравнение:

$$U(k) = K \left\{ \Delta(k) + \frac{T}{T_1} \left( \frac{\Delta(0) + \Delta(k)}{2} + \sum_{i=1}^{k-1} \Delta(i) + \frac{T_2}{T} [\Delta(k) - \Delta(k-1)] \right) \right\} \quad (14)$$

Произведя вычитание из уравнения (14) соответствующего уравнения для  $U(k-1)$  получим второе рекуррентное соотношение:

$$U(k) = U(k-1) + g_0 \Delta(k) + g_1 \Delta(k-1) + g_2 \Delta(k-2) \quad (15)$$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

$$g_0 = K \left( 1 + \frac{T}{2T_1} + \frac{T_2}{T} \right); \quad (16)$$

$$g_1 = -K \left( 1 + 2 \frac{T_2}{T} - \frac{T}{T_1} \right); \quad (17)$$

$$g_2 = K \frac{T_2}{T}. \quad (18)$$

Для малых периодов дискретизации  $T$  коэффициенты  $g_0$ ,  $g_1$ ,  $g_2$  вычисляются с использованием параметров  $K$ ,  $T_1$  и  $T_2$  аналогового ПИД-регулятора.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 7. Литература

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)
2. "Principles and Practice of Automatic Process Control", by Carlos A. Smith , Armando B. Corripio, 2005.
3. Н.Г.Ирошников, А.В.Ларичев, А.В.Корябин, В.И.Шмальгаузен, «Экспресс-анализ параметров турбулентности», Вестник Московского Университета Серия 3 Физика, Астрономия, 2009, №5, 74-78.
4. J. Geary, Introduction to wavefront sensors, SPIE, 1995.
5. Daniel R. Neal. Shack-Hartmann sensor engineered for commercial measurement applications.<http://www.wavefrontsciences.com/papers.htm>
6. F. Roddier (ed), Adaptive optics in astronomy (Cambridge Univ. Press, 1999)
7. J. Hermann, Least-squares wavefront errors of minimum norm, Journal of the Optical Society of America, 70, p.28 (1980).
8. S. L. Campbell and C. D. Jr. Meyer, Generalized Inverses of Linear Transformations. New York: Dover, 1991.
9. E. P. Wallner, Optimal wave-front correction using slope measurements. Journal of the Optical Society of America, 73, p.1771 (1983).
10. P. A. Bakut, V. E. Kirakosyants, V. A. Loginov, C. J. Solomon, J. C. Dainty, Optimal wavefront reconstruction from a Shack-Hartmann sensor by use of a Bayesian algorithm. Optics Communications, 109, p.10 (1994).
11. Tokovinin, Adaptive Optics tutorial at CTIO. part 3, Wave-front sensors. <http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/tutorial/part3/wfs.html>
12. John W. Hardy, Adaptive optics for astronomical telescopes (New York, NY: Oxford University Press, 1998)
13. Tyson, Robert K. Introduction to adaptive optics (Bellingham, WA: SPIE, The International Society for Optical Engineering, 2000).
14. D. Malacara (ed), Optical Shop Testing (Wiley Series in Pure and Applied Optics, New York, John Wiley, Academic Press, 2007)
15. РАСЧЁТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТНОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ ЦИГЛЕРА-НИКОЛСА, Воробьев В.Ю., Саблина Г.В. Автоматика и программная инженерия. 2019. № 1 (27). С. 9-14.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## Приложение 1. Команды удаленного управления

Дано описание команд удаленного управления по протоколу ТСРІР.

### П.1.1. Общие сведения

Данный документ предназначен для описания протокола межмашинного взаимодействия между клиентом удаленного управления (Клиентом) и Программой.

### П.1.2. Описание логической структуры протокола межмашинного взаимодействия

Программа является сервером, подключенным к сети Ethernet.

Для выдачи управляющих команд от Клиента Программе и получения ответов на них от Программы используется протокол ТСРІР.

Для передачи сообщений состояния и команд Программы используется протокол ТСРІР.

ТСРІР сокет для приёма сообщений на стороне Программы: произвольный, по умолчанию 8008.

ТСРІР сокет для приёма запросов состояния блока датчика на стороне Программы: произвольный, по умолчанию 8012.

Настройки сокетов должны быть прописаны в настройках ПО.

### П.1.3. Описание информационного взаимодействия с СУК НОЛС ТИ с ПО Shah

Устанавливается соединение по ТСРІР, затем осуществляется управление.

Управление осуществляется командами и запросами с ожиданием ответа:

Команды формируются как последовательность байт, начинающаяся символом ‘!’(0x21), содержащая разделитель ‘;’ 0x25 и заканчивающаяся ‘%’ 0x3b.

Запрос:

Команда без данных: !4б(код);4б(опции)%

Команда с данными int: !4б(код);4б(число)%

Команда с данными double: !4б(код);8б(число)%

```
struct ShahCode_I_D {
```

```
    int I;
```

```
    double D;
```

```
};
```

Команда с данными struct ShahCode\_I\_D: !4б(код);4б I 8б D%

Ответ:

int: !4б(код);4б(число)%

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

double: !4б(код);8б(число)%

struct ShahCode\_2I {

int I0, I1;

};

Команда с данными struct ShahCode\_2I: !4б(код);4б I0 4б I1%

Таблица П1. Состояние устройства

Код запроса	Опции	Код ответа	Тип данных ответа	Комментарий
0x00008000	1	0x00009001	int	запрос состояния ответ (набор битов): 0 – ОК 1 - измерения запущены, 2 - обратная связь замкнута 4 – датчик ВФ загружен 8 – корректор ВФ загружен 16 – корректор ВФ подготовлен к работе 32 – камера наведения подключена 64 – камера датчика ВФ подключена 128 – «Готов» отрицательные значения говорят об ошибках, см. ниже
0x00008000	2	0x00009002	double	Размах волнового фронта, в мкм.
0x00008000	4	0x00009004	double	СКО волнового фронта, в мкм.
0x00008000	8	0x00009008	double	Сфера волнового фронта, в диоптр.
0x00008000	0x10	0x00009010	double	Наклон по X волнового фронта, в рад.
0x00008000	0x20	0x00009020	double	Наклон по Y волнового фронта, в рад.
0x00008000	0x40	0x00009040	double	Фактор Штреля.
0x00008000	0x100	0x00009100	double	X-tilt текущее значение
0x00008000	0x200	0x00009200	double	Y-tilt текущее значение

Запрос может содержать битовую комбинацию опций, для каждого бита будет послан свой ответ.

Таблица П2. Управление (графы, помеченные серым фоном, реализуются по согласованию с Заказчиком. Значения кодов управления, указанных в них, зарезервированы).

Код запроса	Опции	Код ответа	Тип данных ответа	Комментарий
0x00003000				Запуск измерения волнового фронта
0x00003001				Остановка измерения волнового фронта
0x00003002				Выход из программы

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

0x00002000				Замыкание коррекции волнового фронта
0x00002001				Размыкание коррекции волнового фронта
0x00002002				Сброс – размыкание коррекции + установка управляющих напряжений в 0
0x00002003				Установка управляющих напряжений в 0
0x00004000	double			Ручное управление X-tilt
0x00004001	double			Ручное управление Y-tilt
0x00004100	ShahCode_I_D			Ручное задание управляющего напряжения D в канале I
0x00004101	ShahCode_2I	Код запроса	double[]	Считывание управляющих напряжений с начиная с I0 по I0+I1. Массив содержит I0, I1 и значения напряжений.
0x00004200	ShahCode_I_D			Ручное задание напряжения смещения D в канале I
0x00004400	ShahCode_I_D			Ручное задание целевого значения D в канале I
0x00005000				зарезервировано
0x00005001	ShahCode_I_D			зарезервировано
0x00005002	double[3]			зарезервировано
0x00002006				Включение режима автоматической экспозиции
0x00002007				Выключение режима автоматической экспозиции
0x00002009 или 0x10002008		Код запроса	double	Считать текущее значение экспозиции, мс
0x00002008	double			Установить значение экспозиции, мс
0x00002011	ShahCode_I_D	Код запроса		Считать значение D полинома сдвигов номер I, мкм
0x00002010	ShahCode_I_D			Записать значение D полинома сдвигов номер I, мкм установить UseShifts = true
0x00002013 или 0x10002012		Код запроса	double	Считать размер зрачка, мм
0x00002012	double			Записать размер зрачка для полиномов сдвигов, мм, установить UseShifts = true
0x00002109	double			Записать минимальное значение экспозиции, мс
0x10002109		Код запроса	double	Считать минимальное значение экспозиции, мс
0x0000210a	double			Записать максимальное значение экспозиции, мс

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

0x1000210a		Код запроса	double	Считать максимальное значение экспозиции, мс
0x0000210b	double			Записать шаг изменения значения экспозиции, мс
0x1000210b		Код запроса	double	Считать шаг изменения значения экспозиции, мс
0x0000210c	double			Записать минимальное значение интенсивности кадра, %
0x1000210c		Код запроса	double	Считать минимальное значение интенсивности кадра, %
0x0000210d	double			Записать максимальное значение интенсивности кадра, %
0x1000210d		Код запроса	double	Считать максимальное значение интенсивности кадра, %
0x0000210e	double			Записать минимальное значение интенсивности точек, %
0x1000210e		Код запроса	double	Считать минимальное значение интенсивности точек, %
0x0000210f	double			Записать максимальное значение интенсивности точек, %
0x1000210f		Код запроса		Считать максимальное значение интенсивности точек, %
0x00002110				Включение контроля интенсивности кадра
0x00002111				Выключение контроля интенсивности кадра
0x10002110		Код запроса	int	Считывание контроля интенсивности кадра (0 или 1)
0x00002112				Включение установки интенсивности кадра на среднее
0x00002113				Выключение установки интенсивности кадра на среднее
0x10002112		Код запроса	int	Считывание установки интенсивности кадра на среднее (0 или 1)
0x00002114				Включение контроля интенсивности пятен
0x00002115				Выключение контроля интенсивности пятен

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

0x10002114		Код запроса	int	Считывание контроля интенсивности пятен (0 или 1)
0x00002116				Включение установки интенсивности пятен на среднее
0x00002117				Выключение установки интенсивности пятен на среднее
0x10002116		Код запроса	int	Считывание установки интенсивности пятен на среднее (0 или 1)
0x10002118		Код запроса	double	Считать текущее значение интенсивности кадра, %
0x10002119		Код запроса	double	Считать текущее значение интенсивности пятен, %
0x0000211a				Включение автозаписи файла WFS
0x0000211b				Выключение автозаписи файла WFS
0x1000211a		Код запроса	int	Считывание автозаписи файла WFS (0 или 1)
0x0000211c				Включить игнорирование качества кадров
0x0000211d				Выключить игнорирование качества кадров
0x1000211c		Код запроса	int	Считывание игнорирования качества кадров (0 или 1)
0x0000211e	double			Установить ограничение на размах, мкм, 0 – нет ограничения
0x1000211e		Код запроса	double	Считать ограничение на размах, мкм, 0 – нет ограничения
0x0000211f	double			Установить ограничение на СКО, мкм, 0 – нет ограничения
0x1000211f		Код запроса	double	Считать ограничение на СКО, мкм, 0 – нет ограничения
0x10002120				Включение режима компенсации только наклонов
0x10002121				Выключение режима компенсации только наклонов
0x00007000		Код запроса	char[256]	Производитель начиная с [0], модель начиная с [128].
0x00006000		Код запроса	int	Запрос размера S текущей картинки как файла BMP
Приходит вслед за 0x00006000		0x00006001	unsigned char[S]	Получение текущей картинки.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

0x00001000	char*			Загрузить опорную картинку из указанного файла
0x00001001				Текущая картинка – временная опорная
0x00001002				Текущая картинка – постоянная опорная
0x00001003				Восстановить постоянную опорную (вместо временной)

Надо учитывать, что данные в памяти расположены с инверсией байт\слов, т. е. 4x байтовое 0x00003000 будет 00 30 00 00

Команды 0x00002010 и 0x00002012 заносят значения в таблицу Reference Shifts и включают этот режим.

Типичные режимы удаленного управления.

1. Установка связи с Программой.

1.1. Открыть сокет ТСPIР в режиме Slave, задать IP ПК, на котором запущена программа Shah, и Port в соответствии с установками в программе Shah (по умолчанию 8008).

1.2. Установить соединение.

1.3. Послать команду 0x00008000 с опцией 1, дождаться ответа (См. Приложение 1.1). Если ответ неотрицателен, можно продолжать работу; проверьте, что все установленные устройства найдены (см. расшифровку ответа в таблице П1). Если ответ отрицательный, найдите причину неисправности (См. Приложение 1.2).

2. Выполнение измерений.

2.1. Для запуска измерений пошлите команду 0x00003000.

2.2. Пошлите команду 0x00008000 с опцией 1. Убедитесь, что ответ положителен и содержит бит 1.

2.3. Для считывания текущих значений размаха, СКО и т.п. пошлите команду 0x00008000 с опциями 2, 4 и т.п. Считайте ответ и расшифруйте его в соответствии с примером Приложения 2.

2.4. Для остановки измерений пошлите команду 0x00003001.

2.5. Пошлите команду 0x00008000 с опцией 1. Убедитесь, что ответ положителен и НЕ содержит бит 1.

3. Работа в режиме замкнутой обратной связи.

3.1. Запустите измерения (п. 2.1).

3.2. Для замыкания обратной связи пошлите команду 0x00002000.

3.3. Пошлите команду 0x00008000 с опцией 1. Убедитесь, что ответ положителен и содержит бит 2.

3.4. Считывая текущие значения СКО (п.2.3.), убедитесь, что обратная связь работает правильно (т.е. корректирует ошибку ВФ).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

- 3.5. После достижения некоторого минимального значения СКО перестанет устойчиво уменьшаться и начнет флуктуировать вследствие шума измерений. Такое состояние системы соответствует наилучшей компенсации в данных условиях.
- 3.6. Для размыкания обратной связи пошлите команду 0x00002001.
- 3.7. Для сброса управляющих сигналов в начальное состояние, пошлите команду 0x00002002
4. Считывание и задание индивидуальных значений управляющих сигналов.
- 4.1. Пошлите команду 0x00008000 с опцией 1. Убедитесь, что ответ положителен и содержит бит 8.
- 4.2. Для задания значения d для i-го управляющего сигнала пошлите команду 0x00004100 с опцией ShahCode\_I\_D {I = i; D = d}.
- 4.3. Для считывания текущих значений с i0 по i0+i1 управляющих сигналов пошлите команду 0x00004101 с опцией ShahCode\_2I {I0 = i0; I1 = i1} и дождитесь ответа с тем же кодом, который содержит массив double[i1+2], содержащий I0, I, и значения управляющих сигналов.
5. Установка ограничений на работу обратной связи по размаху и СКО.
- 5.1. Чтобы установить максимальное значение размаха ВФ, при котором обратная связь ещё работает (т.е. посылает сигналы управления), пошлите команду 0x0000211e с опцией - значение максимального размаха в мкм.
- 5.2. Чтобы установить максимальное значение СКО ВФ, при котором обратная связь ещё работает (т.е. посылает сигналы управления), пошлите команду 0x0000211e с опцией - значение максимального СКО в мкм.
6. Получение текущей картинки гартманограммы.
- 6.1. Пошлите команду 0x00006000.
- 6.2. Получите ответ с тем же кодом, содержащий размер файла BMP, в который будет помещена картинка. Создайте буфер в памяти такого же размера.
- 6.3. Получите ответ с кодом 0x00006001, содержащий массив, заполненный данными файла BMP (Начинается байтами 'BM'). Скопируйте его в выделенный массив и используйте так же, как соответствующий файл.
7. Задание опорной картинки.
- 7.1. Для задания текущей картинки как временной опорной, пошлите команду 0x00001001. Временная опорная действует до момента выхода из Программы, или до задания новой опорной.
- 7.2. Для восстановления постоянной опорной картинки (т.е. после задания временной), пошлите команду 0x00001003.
- 7.3. Для задания текущей картинки как постоянной опорной, пошлите команду 0x00001002. Постоянная опорная действует до задания новой опорной и сохраняется после выхода из Программы.
- 7.4. Для загрузки опорной картинки из файла, пошлите команду 0x00001000 с опцией – путь к файлу относительно компьютера, на котором работает Программа.

П.1.4. Заключительные положения

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

Настоящий протокол может быть дополнен новыми командами. При этом гарантируется сохранение ранее описанных команд.

Приложение 1.1.

Примеры команд

запуск датчика  
!00 30 00 00;% (символ !, байты 00, 30, 00, 00, символ ;, символ %) (здесь 00 и 30 - не символы, а значения байт).

Или то же самое в 16-ричных кодах: 21 00 30 00 00 3b 25

запрос СКО и сферы:  
!00 80 00 00; 0b 00 00 00%

ответ (в одном пакете):  
!04 90 00 00; xx xx xx xx xx xx xx xx%!08 90 00 00; yy yy yy yy yy yy yy yy%! 00 90 00 00 ;% xxxxxxxxxxxxxxxx - ско в виде double, yyyyyyyyyyyyyyyyyy - сфера в виде double

Необходимо дождаться конца ответа, кодируемого как 0x00009000, т. е. последовательностью 21 00 90 00 00 3b 25.

Пока она не пришла, запрос не закончен.

Приложение 1.2.

Коды ошибок на запрос состояния

Бит ошибки 0x8000 0000 (32 бит)  
или  
1 - не загружена камера ДВФ  
2 - не загружен корректор ВФ  
4 - перегрузка корректора ВФ  
8 - некорректные функции отклика корректора ВФ  
16 - зарезервировано

Инва. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## Приложение 2. Структура файла WFS

Дано описание структуры файла истории измерений в формате WFS.

WFS-файлы являются бинарными файлами, содержащими всю измерительную информацию и системные параметры. Ниже в таблице описана их структура. Старые версии могут не содержать некоторые данные. Для представления данных используются несколько структур:

<pre>struct SPARAM {   double SystemInputPupilM;   double WLength;   double SysFocusLength;   double SysRefraction;   double Pix2WF;    double Pix2Meter;   double LensD;   int W, H;   bool bPreEstimate;   double dPupilShift;   int iReserved2;   int SystemOutputPupilP;   double XDir;   unsigned long Version;   double YDir;   int iReserved3_3[3];   double dReserved4;   int iReserved4_2[2];   int NumberOfPolynomials;   int iLensletGeometry;    bool Afocal;   double LensletFocusLength;   int iTRelay;   double ScaleFactor;   int WellDepth; }  enum eDummy {eDummyNone = 0};  struct MPARAM {   char MeasurementID[1024];   BYTE Dummy;   double Dummy1;   double Dummy2;   double Dummy3;   char Reserved1[2048];   double Dummy4;   bool Dummy5;   int Reserved2_2[2];   double Dummy6;   double Reserved3;   bool bReserved4;   double Reserved5;   SYSTEMTIME DateTime;   double Dummy7;   double Dummy8;   bool Dummy9;   long Reserved6;</pre>	<p>Входной зрачок системы (м).</p> <p>Длина волны (м).</p> <p>Фокусное расстояние системы(м).</p> <p>Индекс рефракции системы.</p> <p>Коэффициент преобразования сдвига пятен в наклоны волнового фронта.</p> <p>Размер пиксела сенсора камеры (м).</p> <p>Среднее расстояние между линзами в линзовом растре (пиксели).</p> <p>Размер сенсора камеры (пиксели).</p> <p>TRUE, если параметр Pre-estimate установлен в 1.</p> <p>Сдвиг зрачка.</p> <p>Выходной зрачок системы (пиксели).</p> <p>Горизонтальная ориентация камеры (1 или -1).</p> <p>Версия программы.</p> <p>Вертикальная ориентация камеры (1 или -1).</p> <p>Количество полиномов для разложения ВФ.</p> <p>Геометрия линзового раstra: 8 – квадратная, 6 – гексагональная, 4 – ромбическая.</p> <p>1 для афокальной системы.</p> <p>Фокусное расстояние линзового раstra (м).</p> <p>1 для системы преобразования изображения.</p> <p>Калибровочный масштабный коэффициент.</p> <p>Уровень насыщения пиксела камеры в фотоэлектронах.</p> <p>Идентификатор измерений (ID).</p> <p>Дата и время проведения измерений.</p>
---	--

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

```

};

struct HHISTORY {
int NSpots;
union {
    struct {
        int ux, uy, ur;
        int ax, ay, ar;
    } C;

    struct {
        int x, y, a, w, h;
    } R;
};
float *fpReserved1_6[6];
unsigned char *ucpReserved2;
bool bReserved3;
char Reserved4[256];
};

struct ZHISTORY {
    double loPolynomials[37];
    int CurrentNumberOfPolynomials;
    double Sphere, Cylinder, Axis;
    double ADiameter;
    long Time;
    double Reserved3_1[3];
    BYTE PolynomialSet;
    double Reserved3_2[3];
    struct HHISTORY h;
    //
    double sx, sy, sr;
    double UDiameter;
    float *pfReserved3;
    int iReserved4;
    //
    BYTE bReserved5_6[6];
    double *pdReserved6;
    bool bBad;
    bool bZRW;
    float *pReserved7;
    double chi2;
    union {
        double time_mcsec;
        char dummy_6[10];
    };
};
};

```

Количество пятен в опорной гартманогамме.

Координаты центра и радиус единичного круга, а также измерительной области. ar == 0 соответствует прямоугольной измерительной области, ar < 0 означает ее инверсию (измерения вовне области).

Координаты центра, ширина, высота и угол наклона прямоугольной измерительной области.

Если NumberOfPolynomials <= 37, здесь записываются коэффициенты полиномиального разложения.

Текущее число полиномов.

Расчитанные средняя сфера и астигматизм волнового фронта, в диоптриях и градусах.

Диаметр измерительного круга (м).

Время, прошедшее с начала измерения (миллисекунды).

0 – Fringe, 1 – Борн и Вольф, 2 – OSA стандарт, 4 - Кольцевые

См. выше.

Положение центра и радиус входного пучка, рассчитанные по гартманогамме, в м.

Диаметр единичного круга (м).

True если текущий кадр данных неприемлем для обработки.

True если восстановление ВФ проводилось Зональным методом

Chi<sup>2</sup> оценка разложения текущего кадра.

Время с начала текущего измерения (мкс).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

WFS-файл содержит следующую информацию:

№ поля	№ кадра	Тип	Размер(в байтах)	Имя	Комментарий
1		unsigned	4	SizeOfZHistory	Размер структуры ZHISTORY. См. выше.
2		unsigned	4	SizeOfHHistory	Размер структуры HHISTORY. См. выше.
3		unsigned	4	SizeOfSPARAM	Размер структуры SPARAM. См. выше.
4		struct SPARAM	SizeOfSPARAM	SPARAM	Структура, содержащая значения системных параметров.
5		unsigned	4	SizeOfMPARAM	Размер структуры MPARAM. См. ниже.
6		struct MPARAM	SizeOfMPARAM	MPARAM	Структура, содержащая значения параметров измерения.
7		int	4	HistoryLength	Количество кадров в измерении
8	1	struct ZHISTORY	SizeOfZHistory	pZHISTORY[0]	Первая структура ZHISTORY.
9	1	float[NSpots]	4* Nspots	XR	Массив X-координат опорных пятен (пиксели).
10	1	float[NSpots]	4* Nspots	YR	Массив Y-координат опорных пятен (пиксели).
11	1	float[NSpots]	4* NSpots	XC	Массив X-координат пятен текущей гартманнограммы (пиксели).
12	1	float[NSpots]	4* NSpots	YC	Массив Y-координат пятен текущей гартманнограммы (пиксели).
13	1	float[NSpots]	4* NSpots	Weights	Массив весовых коэффициентов пятен текущей гартманнограммы (0..1)
14	1	float[NSpots]	4* NSpots	Dispersions	Массив дисперсий пятен текущей гартманнограммы (пиксели)
15	1	BYTE[NSpots]	1* NSpots	Flags	Массив флагов пятен

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Инвар. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Копировал

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

					текущей гартманогаммы (комбинации 0,1,2)
16	1	float[NSpots]	4* NSpots	Intensity	Массив яркостей пятен текущей гартманогаммы.
17	1	float[NumberOfPolynomials]	4* NumberOfPolynomials	Polynomial coefficients.	Array of current polynomial coefficients (m).
18	1	float[NSpots]	4* NSpots	Zonal Reconstructed Wavefront	Массив ВФ, восстановленного зональным методом. Если bZRW==FALSE, это поле в файле отсутствует.
8	2	struct ZHISTORY	SizeOfZHistory	pZHISTORY[0]	Вторая структура ZHISTORY.
9	2	Аналогично кадру №1			

Позиции 8-16 (17,18) повторяются HistoryLength раз.

Позиция 17 используются, если значение NumberOfPolynomials превышает 37.

Поле 18 присутствует в файле только в том случае, когда bZRW равно TRUE.

Значение флага Flag, равное 1 или 2, означает, что пятно не должно использоваться для вычислений.

Пользователь должен считывать структуры с начала файла, используя информацию об их размере (позиции 1-3,5). Если некоторые поля структур не заполнены, пользователь должен установить им значения, пользуясь параметрами программы. Это может происходить в тех случаях, когда файл был записан более старой версией программы.

Сдвиги пятен гартманогаммы можно рассчитать как разность между элементами массивов XR, YR и XC, YC.

Например, для вычисления локальных наклонов ВФ в j-м кадре, после загрузки файла проделайте следующие операции:

```
double tt = -SystemOutputPupilP/SystemInputPupilM*Pix2WF*WLength;
```

```
for (int i = 0; i < pZHISTORY[j].h.NSpots; i++) {
```

```
    double sx, sy;           // наклоны
```

```
    if (pZHISTORY[j].h.Flags[i] != 0)
```

```
        continue;           // пятно должно быть пропущено
```

```
    sx = pZHISTORY[j].h.XC[i] - pZHISTORY[j].h.XR[i];
```

```
    sy = pZHISTORY[j].h.YC[i] - pZHISTORY[j].h.YR[i];
```

```
    sx *= tt;                //гориз. наклон для i-го пятна
```

```
    sy *= tt;                //верт. наклон для i-го пятна
```

```
}
```

**Наклоны, вычисленные таким образом, имеют значения, выраженные в радианах.**

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

## Приложение 3 Представления полиномов Цернике

### ПЗ.1. OSA (Американское Оптическое Общество)

N	M	I	Формульное Выражение	Название
0	0	0.	1	Поршень
1	-1	1.	$2r \sin(\theta)$	Y-наклон
1	1	2.	$2r \cos(\theta)$	X-наклон
2	-2	3.	$\sqrt{6}r^2 \sin(2\theta)$	Астигматизм
2	0	4.	$\sqrt{3}(2r^2 - 1)$	Дефокусировка
2	2	5.	$\sqrt{6}r^2 \cos(2\theta)$	Астигматизм
3	-3	6.	$2\sqrt{2}r^3 \sin(3\theta)$	Трифойл
3	-1	7.	$2\sqrt{2}(3r^3 - 2r)\sin(\theta)$	Кома
3	1	8.	$2\sqrt{2}(3r^3 - 2r)\cos(\theta)$	Кома
3	3	9.	$2\sqrt{2}r^3 \cos(3\theta)$	Трифойл
4	-4	10.	$\sqrt{10}r^4 \sin(4\theta)$	
4	-2	11.	$\sqrt{10}(4r^4 - 3r^2)\sin(2\theta)$	
4	0	12.	$\sqrt{5}(6r^4 - 6r^2 + 1)$	Сферическая абберация
3	2	13.	$\sqrt{10}(4r^4 - 3r^2)\cos(2\theta)$	
3	4	14.	$\sqrt{10}r^4 \cos(4\theta)$	
5	-5	15.	$2\sqrt{3}r^5 \sin(5\theta)$	
5	-3	16.	$2\sqrt{3}(5r^5 - 4r^3)\sin(3\theta)$	
5	-1	17.	$2\sqrt{3}(10r^5 - 12r^3 + 3r)\sin(\theta)$	
5	1	18.	$2\sqrt{3}(10r^5 - 12r^3 + 3r)\cos(\theta)$	
5	3	19.	$2\sqrt{3}(5r^5 - 4r^3)\cos(3\theta)$	
5	5	20.	$2\sqrt{3}r^5 \cos(5\theta)$	
6	-6	21.	$\sqrt{14}r^6 \sin(6\theta)$	
6	-4	22.	$\sqrt{14}(6r^6 - 5r^4)\sin(4\theta)$	
6	-2	23.	$\sqrt{14}(15r^6 - 20r^4 + 6r^2)\sin(2\theta)$	
6	0	24.	$\sqrt{7}(20r^6 - 30r^4 + 12r^2 - 1)$	
6	2	25.	$\sqrt{14}(15r^6 - 20r^4 + 6r^2)\cos(2\theta)$	
6	4	26.	$\sqrt{14}(6r^6 - 5r^4)\cos(4\theta)$	
6	6	27.	$\sqrt{14}r^6 \cos(6\theta)$	

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

7	-7	28.	$4r^7 \sin(7\theta)$	
7	-5	29.	$4(7r^7 - 6r^5) \sin(5\theta)$	
7	-3	30.	$4(21r^7 - 30r^5 + 10r^3) \sin(3\theta)$	
7	-1	31.	$4(35r^7 - 60r^5 + 30r^3 - 4r) \sin(\theta)$	
7	1	32.	$4(35r^7 - 60r^5 + 30r^3 - 4r) \cos(\theta)$	
7	3	33.	$4(21r^7 - 30r^5 + 10r^3) \cos(3\theta)$	
7	5	34.	$4(7r^7 - 6r^5) \cos(5\theta)$	
7	7	35.	$4r^7 \cos(7\theta)$	

$N$  – порядок полинома,  $M$  – угловое число,  $l$  – порядковый номер.

Для порядков выше  $7^{\text{го}}$ , используется следующее выражение:

$$Z_n^m(\rho(x, y), \theta(x, y)) = R_n^m \exp(im\theta), \quad 0 \leq \rho \leq 1,$$

$$\rho = r/r_0, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi\theta,$$

$$r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \theta = \arctan(y/x),$$

Где  $r_0$  – радиус единичного круга, и

$$R_n^m(\rho) = \sum_{l=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^l (n-l)!}{l! [1/2(n+m)-l]! [1/2(n-m)-l]!} \rho^{n-2l}$$

Инва. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инва. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### ПЗ.2 Борн и Вольф

.0.	1	Постоянная составляющая
1.	$2r \cos(\theta)$	У-наклон
2.	$2r \sin(\theta)$	Х-наклон
3.	$\sqrt{6r^2} \sin(2\theta)$	Астигматизм
4.	$\sqrt{3}(2r^2 - 1)$	Дефокусировка
5.	$\sqrt{6r^2} \cos(2\theta)$	Астигматизм
6.	$2\sqrt{2}r^3 \sin(3\theta)$	Кома нулевой кривизны (Трифойл)
7.	$2\sqrt{2}(3r^3 - 2r)\sin(\theta)$	Чистая кома
8.	$2\sqrt{2}(3r^3 - 2r)\cos(\theta)$	Чистая кома
9.	$2\sqrt{2}r^3 \cos(3\theta)$	Кома нулевой кривизны (Трифойл)
10.	$\sqrt{10}r^4 \sin(4\theta)$	
11.	$\sqrt{10}(4r^4 - 3r^2)\sin(2\theta)$	Астигматизм 5 <sup>го</sup> порядка
12.	$\sqrt{5}(6r^4 - 6r^2 + 1)$	Сферическая aberrация
13.	$\sqrt{10}(4r^4 - 3r^2)\cos(2\theta)$	Астигматизм 5 <sup>го</sup> порядка
14.	$\sqrt{10}r^4 \cos(4\theta)$	
15.	$2\sqrt{3}r^5 \sin(5\theta)$	
16.	$2\sqrt{3}(5r^5 - 4r^3)\sin(3\theta)$	
17.	$2\sqrt{3}(10r^5 - 12r^3 + 3r)\sin(\theta)$	
18.	$2\sqrt{3}(10r^5 - 12r^3 + 3r)\cos(\theta)$	
19.	$2\sqrt{3}(5r^5 - 4r^3)\cos(3\theta)$	
20.	$2\sqrt{3}r^5 \cos(5\theta)$	
21.	$\sqrt{14}r^6 \sin(6\theta)$	
22.	$\sqrt{14}(6r^6 - 5r^4)\sin(4\theta)$	
23.	$\sqrt{14}(15r^6 - 20r^4 + 6r^2)\sin(2\theta)$	
24.	$\sqrt{7}(20r^6 - 30r^4 + 12r^2 - 1)$	
25.	$\sqrt{14}(15r^6 - 20r^4 + 6r^2)\cos(2\theta)$	
26.	$\sqrt{14}(6r^6 - 5r^4)\cos(4\theta)$	
27.	$\sqrt{14}r^6 \cos(6\theta)$	
28.	$4r^7 \sin(7\theta)$	

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

29.	$4(7r^7 - 6r^5) \sin(5\theta)$	
30.	$4(21r^7 - 30r^5 + 10r^3) \sin(3\theta)$	
31.	$4(35r^7 - 60r^5 + 30r^3 - 4r) \sin(\theta)$	
32.	$4(35r^7 - 60r^5 + 30r^3 - 4r) \cos(\theta)$	
33.	$4(21r^7 - 30r^5 + 10r^3) \cos(3\theta)$	
34.	$4(7r^7 - 6r^5) \cos(5\theta)$	
35.	$4r^7 \cos(7\theta)$	

Полиномы с номером старше 35 не используются.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

### П3.3 Представление “Fringe”

0.	1	Постоянная составляющая
1.	$2r \cos(\theta)$	X-наклон
2.	$2r \sin(\theta)$	Y-наклон
3.	$\sqrt{3}(2r^2 - 1)$	Дефокусировка
4.	$\sqrt{6}r^2 \cos(2\theta)$	Астигматизм
5.	$\sqrt{6}r^2 \sin(2\theta)$	Астигматизм
6.	$2\sqrt{2}(3r^3 - 2r)\cos(\theta)$	Чистая кома
7.	$2\sqrt{2}(3r^3 - 2r)\sin(\theta)$	Чистая кома
8.	$\sqrt{5}(6r^4 - 6r^2 + 1)$	Сферическая aberrация
9.	$2\sqrt{2}r^3 \cos(3\theta)$	Кома нулевой кривизны (Трифойл)
10.	$2\sqrt{2}r^3 \sin(3\theta)$	Кома нулевой кривизны (Трифойл)
11.	$\sqrt{10}(4r^4 - 3r^2)\cos(2\theta)$	Астигматизм 5 <sup>го</sup> порядка
12.	$\sqrt{10}(4r^4 - 3r^2)\sin(2\theta)$	Астигматизм 5 <sup>го</sup> порядка
13.	$\sqrt{10}r^4 \cos(4\theta)$	
14.	$\sqrt{10}r^4 \sin(4\theta)$	
15.	$2\sqrt{3}(10r^5 - 12r^3 + 3r)\cos(\theta)$	
16.	$2\sqrt{3}(10r^5 - 12r^3 + 3r)\sin(\theta)$	
17.	$\sqrt{7}(20r^6 - 30r^4 + 12r^2 - 1)$	
18.	$2\sqrt{3}(5r^5 - 4r^3)\cos(3\theta)$	
19.	$2\sqrt{3}(5r^5 - 4r^3)\sin(3\theta)$	
20.	$\sqrt{14}(15r^6 - 20r^4 + 6r^2)\cos(2\theta)$	
21.	$\sqrt{14}(15r^6 - 20r^4 + 6r^2)\sin(2\theta)$	
22.	$4(35r^7 - 60r^5 + 30r^3 - 4r)\cos(\theta)$	
23.	$4(35r^7 - 60r^5 + 30r^3 - 4r)\sin(\theta)$	
24.	$210r^8 - 420r^6 + 270r^4 - 60r^2 + 3$	
25.	$2\sqrt{3}r^5 \cos(\theta)$	
26.	$2\sqrt{3}r^5 \sin(\theta)$	
27.	$\sqrt{14}(6r^6 - 5r^4)\cos(4\theta)$	
28.	$\sqrt{14}(6r^6 - 5r^4)\sin(4\theta)$	
29.	$4(21r^7 - 30r^5 + 10r^3)\cos(3\theta)$	
30.	$4(21r^7 - 30r^5 + 10r^3)\sin(3\theta)$	

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Копировал

31.	$\sqrt{2}(56r^8 - 105r^6 + 60r^4 - 10r^2)\cos(2\theta)$	
32.	$\sqrt{2}(56r^8 - 105r^6 + 60r^4 - 10r^2)\sin(2\theta)$	
33.	$\sqrt{5}(126r^9 - 280r^7 + 210r^5 - 60r^3 + 5r)\cos(\theta)$	
34.	$\sqrt{5}(126r^9 - 280r^7 + 210r^5 - 60r^3 + 5r)\sin(\theta)$	
35.	$\sqrt{11}(252r^{10} - 630r^8 + 560r^6 - 210r^4 + 30r^2 - 1)$	

Полиномы с номером старше 35 не используются.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата

Копировал

### ПЗ.4 Полиномы Цернике для кольцевой апертуры.

Эти полиномы были описаны в работе V. N. Mahajan, "Zernike annular polynomials for imaging systems with annular pupils", J.Opt.Soc.Am., vol.71, No.1.

Они подобны полиномам Цернике, но ортонормированы на кольцевой апертуре.

Поэтому необходимо использовать дополнительный параметр  $\varepsilon = \frac{r_{inner}}{r_{outer}}$ .

В Программе для этих полиномов используются радиус единичного круга и радиус ДО. Радиус единичного круга является внешним, а радиус ДО – внутренним. Центры кругов должны совпадать.

Эти полиномы определены внутри кольца.

### ПЗ.5 Полиномы Лежандра.

Множество этих полиномов для одномерного случая описывается следующим рекуррентным соотношением:

$$(n + 1)P_{n+1}(x) = (2n + 1)xP_n(x) - nP_{n-1}(x).$$

Используемые в программе двумерные полиномы являются результатом произведения полиномов n-го порядка, зависящих от x, и m-го порядка, зависящих от y.

Они определены на прямоугольнике с заданными координатами центра, шириной, высотой и углом поворота относительно центра. Таким образом, для ЕО в виде прямоугольника необходимо задать 5 величин.

Инва. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

