

Утверждён

643.ВДАШ.63.01.29-01 13 01-ЛУ

СПО ДВФ ШАН (ВЕР.13)

Описание программы

643.ВДАШ.63.01.29-01 13 01

Листов 30

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

2021

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Литера

Копировал

## АННОТАЦИЯ

В данном документе приведено описание программы «СПО ДВФ 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
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ.....	5
3. ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ .....	7
4. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА.....	14
5. ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА .....	15
6. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....	16
Приложение 1 .....	18
Приложение 2 .....	26

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

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

Копировал

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Наименование программы: СПО ДВФ ШАН (ВЕР.13) (далее – Программа, программное обеспечение, ПО).

1.2. Обозначение: 643.ВДАШ.63.01.29-01.

1.3. Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы:

1) операционная система MS Windows 7 или старше;

2) операционная система Linux Debian 10 или старше, в том числе Astra Linux 9 или старше.

1.4. Языки программирования, на которых написана программа

1.4.1. Программа реализована на языках программирования и в средах разработки:

- язык программирования C++, Ассемблер;
- фреймворк QT;
- среда разработки QT.

Интв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Интв. № 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 и коррекции ВФ с использованием устройства коррекции ВФ (КВФ). Измерение и коррекция осуществляются в реальном времени с частотой, задаваемой частотой работы камеры датчика ВФ (ДВФ). Программа также позволяет контролировать юстировку ДВФ и процесс коррекции ВФ.

Контроль производится в интерактивном режиме и позволяет визуализировать данные в соответствии с выбранными свойствами и атрибутами.

2.2. Программа обеспечивает:

- 1) визуализацию входных данных ДВФ (гартманнограмма);
- 2) визуализацию обработанных данных ДВФ;
- 3) визуализацию состояния ДВФ, в том числе:
  - частоту и экспозицию камеры ДВФ;
  - индикацию ошибок ДВФ и КВФ;
- 4) возможность задания референсного изображения;
- 5) возможность измерения функций отклика (ФО) КВФ;
- 6) возможность продолжения работы после устранения отклонений, вызванных сбоями технических средств (в некоторых случаях может потребоваться перезагрузка ЭВМ);
- 7) Программа обеспечивает возможность записывать следующие данные в процессе работы:
  - дата;
  - время;
  - состояние ДВФ;
  - выдержка камеры ДВФ;
  - частота камеры ДВФ;
  - среднеквадратичное отклонение и размах ВФ;
  - изображения с камеры ДВФ;
  - сигналы рассогласования;
  - сигналы управления КВФ.
- 8) Программа обеспечивает возможность изменять выдержку камеры ДВФ, управлять КВФ в ручном режиме и в режиме замкнутой обратной связи.

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

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

Копировал

9) Программа обеспечивает возможность конфигурации параметров и сохранения их в файлы настроек.

### 2.3. Функциональные ограничения

2.3.1. Дополнительных функций сверх указанных тактико-технических характеристик не предусмотрено.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

### 3. ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

#### 3.1. Алгоритм программы

3.1.1 Алгоритм работы программы основан на использовании многопоточности для отделения обработки данных ДВФ и вычисления сигналов управления (СУ) КВФ в реальном времени от визуализации данных и состояния ДВФ и КВФ и интерактивного взаимодействия с пользователем.

Для получения и обработки данных и управления внешними устройствами используются динамически загружаемые опциональные модули:

3.1.1.1. Модуль вычислений ДВФ предназначен для обработки изображений ДВФ, восстановления ВФ и вычисления СУ КВФ. Модуль использует алгоритмы, защищенные Свидетельствами о регистрации прав на программное обеспечение №№ 2008615294, 2009612356 и 2021619024.

3.1.1.2. Модуль камеры ДВФ реализует интерфейс камеры ДВФ.

3.1.1.3. Модуль интерфейса КВФ реализует интерфейс КВФ.

Данные с камеры ДВФ (гартманнограмма) считываются в отдельном потоке. После считывания очередного кадра связанный с ним синхрообъект активизируется. Поток обработки, ожидающий данный объект, копирует новые данные, обрабатывает их (при необходимости усредняя и вычитая фон), вычисляет разложение ВФ по заданному набору полиномов и ФО КВФ. После этого поток, обеспечивающий визуализацию ВФ, вычисляет карту ВФ в соответствии с заданными пользователем параметрами и отображает ее на мониторе. Если Программа работает в режиме замкнутой ОС, разложение по ФО КВФ используется для вычисления СУ КВФ, после чего СУ посылаются на КВФ.

Отдельный поток периодически опрашивает состояние внешних устройств и, в случае возникновения ошибок, выдает соответствующие сообщения на монитор.

Отдельный поток обеспечивает запись выбранных пользователем данных в протокол.

Структурная схема Программы приведена на Рис. 3.1.1.1.

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

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

Копировал

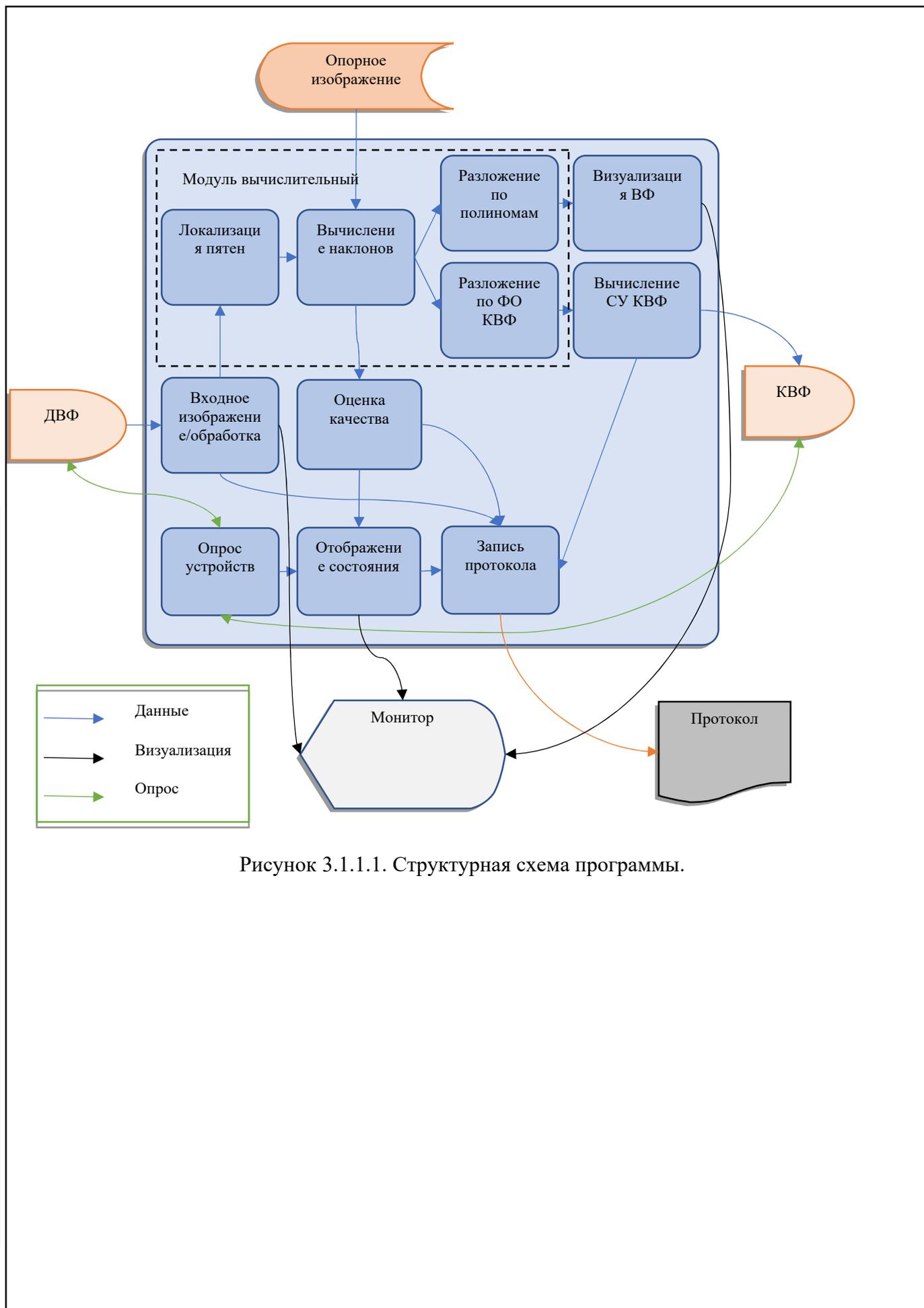


Рисунок 3.1.1.1. Структурная схема программы.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

3.1.2. Для хранения данных, используемых Программой, используется класс VData, который может содержать 1- или 2-мерные данные основных интегральных типов (Рис.3.1.2.1.), а также предоставляет абстрактный интерфейс отображения.

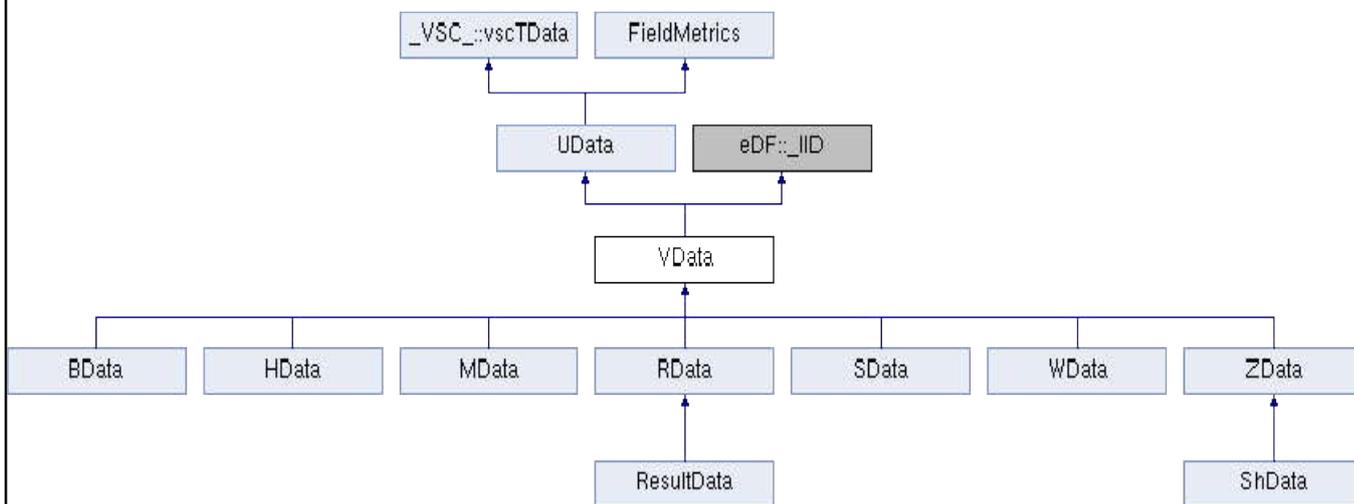


Рисунок 3.1.2.1. Диаграмма взаимодействия классов контейнеров данных.

Класс UData является универсальным контейнером данных.

Класс eDF::\_IID является абстрактным базовым классом графического интерфейса.

Класс \_VSC\_::vscTData обеспечивает синхронизацию данных в многопоточном окружении.

Класс FieldMetrics содержит сведения о метрике данных.

Класс BData описывает свойства пучка излучения.

Класс HData является контейнером для входных данных МИ ДВФ (гартманнограммы).

Класс MData является контейнером для ФО КВФ.

Класс RData является контейнером данных измерений ВФ.

Класс ResultData является контейнером текущих данных измерений ВФ.

Класс SData является контейнером данных о характеристиках ВФ.

Класс WData является контейнером данных восстановленного ВФ.

Класс ZData является контейнером данных разложения ВФ по ФО КВФ или по выбранному набору полиномов.

Класс ShData является контейнером данных сдвига пятен референсного изображения.

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

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

Копировал

3.1.3. Для общего представления данных измерений ВФ используется класс RData, (Рис. 3.1.2.2.), содержащий кроме данных измерений разложения ВФ по выбранному набору полиномов также данные о процессе измерения.

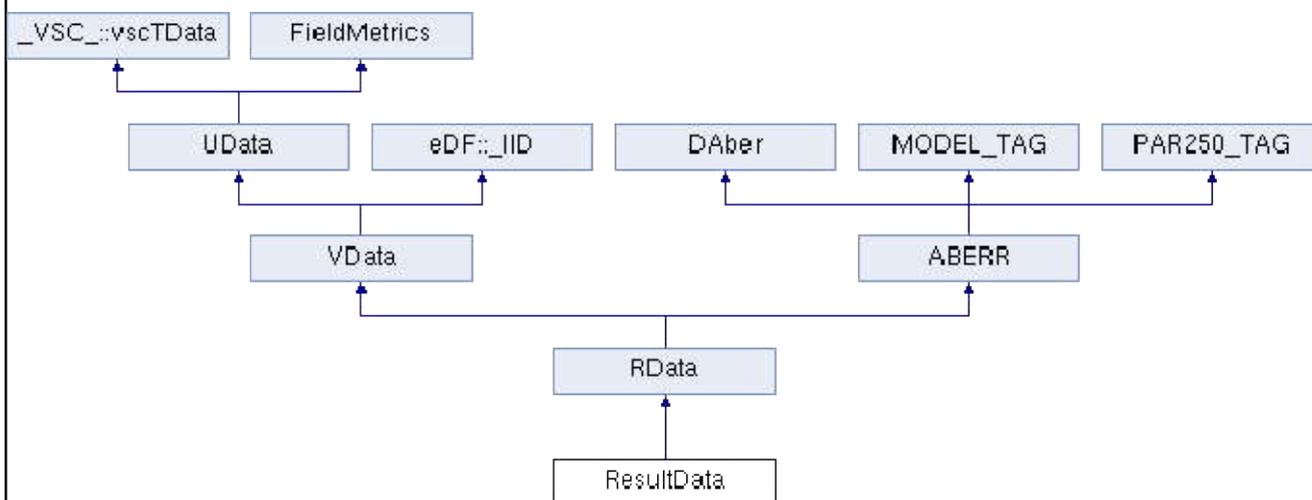


Рисунок 3.1.2.2. Диаграмма структуры класса RData.

Класс ABERR содержит данные о ДВФ (класс DAber), о модели измерений (класс MODEL\_TAG) и о параметрах текущего измерения (класс PAR250\_TAG).

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

3.1.4. Для визуального представления данных используется абстрактный класс dataWindow, (Рис.3.1.2.3.).

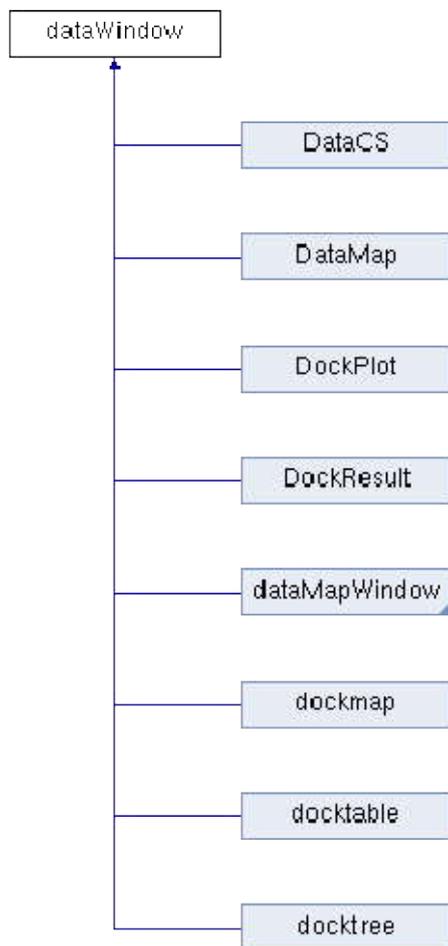


Рисунок 3.1.2.3. Диаграмма структуры класса dataWindow.

Производные от него классы:

Класс DataMap создает окно отображения двумерной карты.

Класс DataCS создает окно отображения двумерных данные как сечения вдоль горизонтальной и вертикальной осей.

Класс DockPlot создает окно отображения данных как график временной зависимости.

Класс DataResult создает окно отображения данных измерений как график временной зависимости.

Класс dataMapWindow реализует пользовательский интерфейс класса dockmap.

Класс dockmap отображает двумерные данные как двумерную карту в оттенках серого/псевдоцветах.

Класс docktable отображает данные как таблицу.

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

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

Копировал

Класс docktree отображает данные как дерево.

3.1.5. Для реализации функциональности, связанной с многопоточностью, используются классы `_VSC_::vscTask`, `_VSC_::vscTData` и `_VSC_::vscTaskThread`.

3.1.6. Для реализации функциональности, связанной с интерфейсом пользователя, использованы компоненты фреймворка QT: классы `QDialog`, `QImage`, `QLabel`, `QPainter`.

3.1.7. Для работы с данными на локальном диске использованы компоненты фреймворка QT: классы `QOpenFile`, `QDir`, `QFileInfo`.

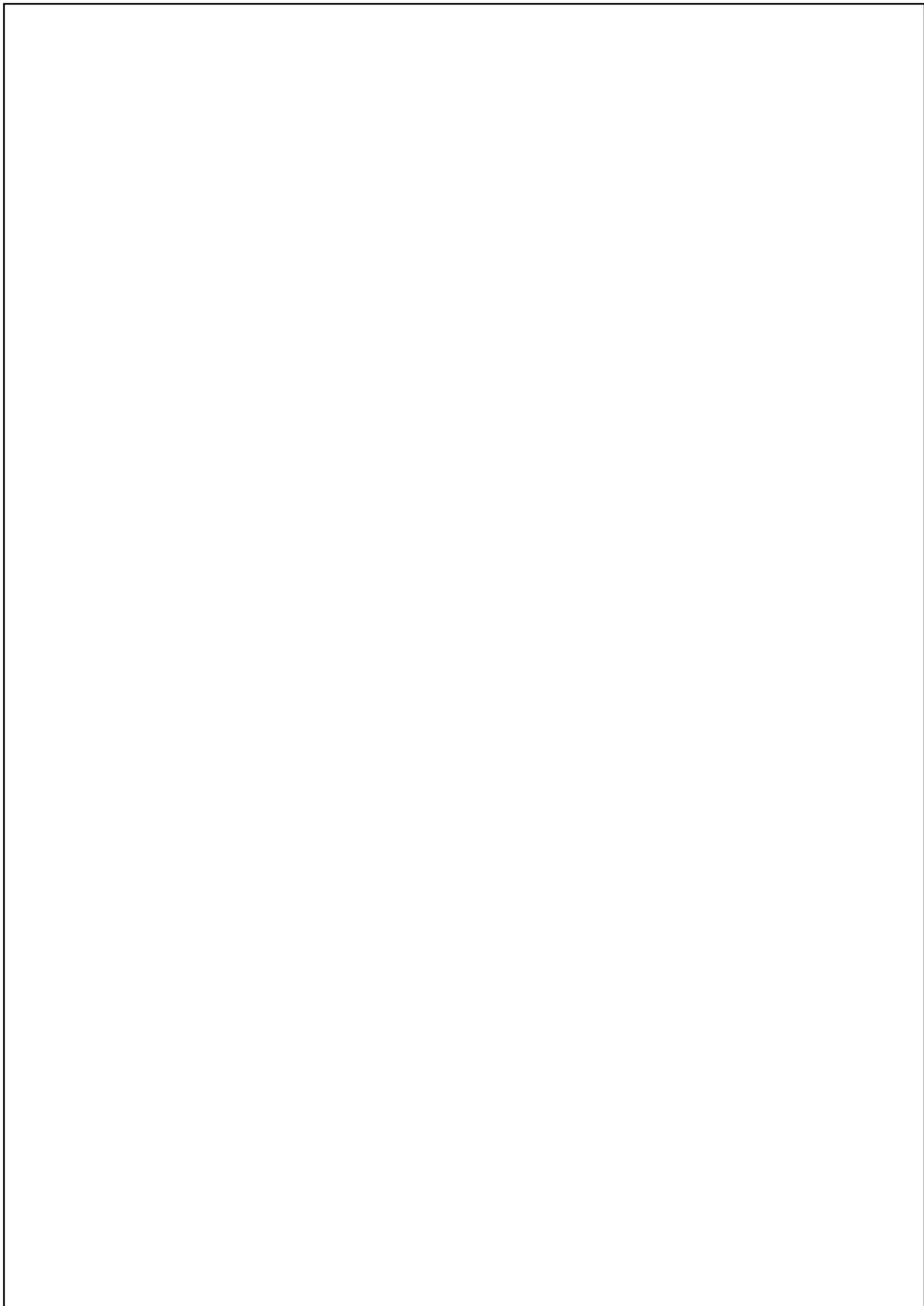
3.1.8. Для удаленного управления Программой по протоколу TCP/IP используется класс `_VSC_::vscServer`. Описание протокола дано в Приложении 1.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

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



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

Копировал

### 3.2. Используемые методы

3.2.1 Программа для решения вычисления ВФ по методу Шака-Гартманна использует вычисление центра масс пятен изображения МИ и разложение по наборам ортонормированных полиномов по методу наименьших квадратов (МНК). Для вычисления сигналов управления КВФ используются МНК и метод пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора. Для контроля работоспособности ДВФ используется проверка данных, поступающих из различных частей ДВФ, на отсутствие сообщений об ошибках.

3.3. Структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними

3.3.1. Программа имеет графический пользовательский интерфейс, и все взаимодействия пользователя с программой происходит посредством него. Описание интерфейса дано в документе 643.ВДАШ.63.01.29-01 34 02 Руководство оператора.

### 3.4. Связи программы с другими программами

3.4.1. Программа запускается из терминала или менеджера файлов ОС или из ярлыка с рабочего стола.

## 4. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

4.1. Программа эксплуатируется на технических средствах со следующими характеристиками (не ниже):

- ЭВМ на основе процессора, совместимого с Intel Core, со следующими техническими характеристиками:

- процессор: Intel Core i5 3.0Ghz или более производительный;
- видеокарта;
- объем оперативной памяти: 16 ГБ или больше;
- объем жесткого диска: 320 ГБ или больше.

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

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

Копировал

## 5. ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА

5.1. Способ вызова программы с соответствующего носителя данных

5.1.1. Для вызова программы необходимо выполнить описанную ниже последовательность действий:

1) обеспечить считывание носителя данных для конкретной ЭВМ (согласно эксплуатационным характеристикам соответствующего носителя данных);

2) скопировать архив setupShahXXX.zip с программой в директорию Shahq соответствующего пользователя;

3) распаковать архив setupShahXXX.zip.

4) под MS Windows запустить setupShahXXX.exe, выполнить установку программы. Запустить ярлык Shah с рабочего стола.

под Linux открыть директорию Shahq в терминале или менеджере файлов. запустить программу, выдав команду ./ShahQ.sh;

б) убедиться, что запуск программы прошёл успешно (не было выдано предупреждений о неработоспособности устройств ДВФ, нажать кнопку **Старт** на панели ДВФ.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

5.2. Входные точки в программу

5.2.1. Входной точкой в программу является функция `main`.

## 6. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ

6.1. Характер, организация и предварительная обработка входных данных

6.1.1. Входными данными для Программы являются кадры с камеры ДВФ.

6.2. Формат, описание и способ кодирования входных данных

6.2.1. Массив 8 или 16-битных беззнаковых целых чисел размерностью, определяемой разрешением камеры ДВФ.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## 7. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

### 7.1. Характер, организация и предварительная обработка выходных данных

7.1.1. Выходными данными для Программы являются файлы растровых изображений в формате bmp, jpg, png или tif, а также бинарный файл данных измерений в формате wfs.

### 7.2. Формат, описание и способ кодирования выходных данных

#### 7.2.1.

- WFS – бинарный файл истории измерений (см. Приложение 2).
- BMP - растровый формат хранения графической информации.
- TIF - растровый формат хранения графической информации.
- PNG - растровый формат хранения графической информации, использующий сжатие без потерь по алгоритму Deflate.
- JPG - растровый формат хранения графической информации, использующий сжатие с потерями.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## Приложение 1

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



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

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
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

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

Копировал

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
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

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

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

Копировал

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.
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. 4х 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 ТСРIP в режиме Slave, задать IP ПК, на котором запущена программа Shah, и Port в соответствии с установками в программе Shah (по умолчанию 8008).

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

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

Копировал

- 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).
- 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.

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

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

Копировал

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 картинке 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 картинке.

7.1. Для задания текущей картинке 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 картинке (т.е. после задания временной), пошлите команду 0x00001003.

7.3. Для задания текущей картинке как постоянной опорной, пошлите команду 0x00001002. Постоянная опорная действует до задания новой опорной и сохраняется после выхода из Программы.

7.4. Для загрузки опорной картинке из файла, пошлите команду 0x00001000 с опцией - путь к файлу относительно компьютера, на котором работает Программа.

П.1.4. Заключительные положения

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 ;% xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx - 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

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

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

Копировал

- 1 - не загружена камера ДВФ
- 2 - не загружен корректор ВФ
- 4 - перегрузка корректора ВФ
- 8 - некорректные функции отклика корректора ВФ

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

## Приложение 2

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). Длина волны (м). Фокусное расстояние системы(м). Индекс рефракции системы. Коэффициент преобразования сдвига пятен в наклоны волнового фронта. Размер пиксела сенсора камеры (м). Среднее расстояние между линзами в линзовом растре (пиксели). Размер сенсора камеры (пиксели). TRUE, если параметр Pre-estimate установлен в 1. Сдвиг зрачка. Выходной зрачок системы (пиксели). Горизонтальная ориентация камеры (1 или -1). Версия программы. Вертикальная ориентация камеры (1 или -1). Количество полиномов для разложения ВФ. Геометрия линзового раstra: 8 – квадратная, 6 – гексагональная, 4 – ромбическая. 1 для афокальной системы. Фокусное расстояние линзового раstra (м). 1 для системы преобразования изображения. Калибровочный масштабный коэффициент. 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];
};
```

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.

```
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];
};
};
```

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 текущей гартманнограммы

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

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

Копировал

					(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

