

Приложение Г.  
Техническое задание на разработку  
системы регистрации изображений.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
Специальная астрофизическая обсерватория  
Российской академии наук

УДК 520; 523.3; 523.9; 524

№

УТВЕРЖДАЮ

Вр.и.о.директора САО РАН  
член-корр. РАН Ю.Ю.Балега



Техническое задание на разработку  
крупноформатной системы регистрации изображений  
для УНУ БТА

Разработано в рамках  
Соглашения № 14.619.21.0004 от 22 августа 2014 г.

Нижний Архыз

2014

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, заместитель  
директора CAO РАН, к.ф.-м.н

В.В.Власюк  
(Общее руководство)

Исполнители темы:

Зав. лаб. перспективных разработок  
CAO РАН, к.т.н.

С.В.Маркелов  
(разработка документа)

Ведущий инженер лаборатории  
перспективных разработок CAO РАН

В.А.Мурзин

Ведущий инженер лаборатории  
перспективных разработок CAO РАН

И.В.Афанасьева

Нормоконтролер,  
старший экономист CAO РАН

Т.Ф.Труфанова

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Цель работы, назначение и область применения устройства	73
2	Технические характеристики и требования	73
3	Методология проектирования	76
4	Выбор криорефрижератора для фотоприемного устройства	77
5	Описание конструкции КФПУ	78
6	Контроллер КФПУ	80
7	Программное обеспечение управляющего компьютера	81

## 1. Цель работы, назначение и область применения устройства

Целью работы является техническое проектирование крупноформатного фотоприемного устройства (КФПУ) для УНУ БГА на основе ПЗС-матриц формата 2048x4096.

КФПУ предназначено для преобразования оптических изображений участков небесной сферы (наблюдаемые объекты, звезды, распределенный фон), формируемых телескопом, в электрический видеосигнал посредством охлаждаемого твердотельного приемника изображения, формирования цифровых изображений и ввода их в управляющий компьютер.

Область применения КФПУ - астрономические наблюдения на телескопах с большим размером изображения, формируемого в фокальной плоскости.

## 2. Технические характеристики и требования

### 2.1. Основные качественные характеристики

КФПУ должно обладать следующими качественными характеристиками:

- в устройстве должны использоваться твердотельные приемники изображения – широкоформатные ПЗС-матрицы, обеспечивающие высокую чувствительность в видимом диапазоне длин волн;
- устройство должно иметь высокие фотометрические характеристики: темновой ток должен быть минимизирован путем глубокого охлаждения фотоприемника, шум считывания должен быть ограничен собственным шумом ПЗС-матриц, а видеоканал должен обеспечивать широкий динамический диапазон;
- устройство должно иметь максимально высокую кадровую частоту считывания изображений, обеспечиваемую ПЗС-матрицей, в соответствии с требованиями короткоэкспозиционных методов наблюдений;
- система управления КФПУ должны обеспечивать дистанционное управление всеми режимами работы, телеметрический контроль состояния приемников изображения, а также прием цифровых изображений по оптоволоконной линии связи;
- архитектура системы управления КФПУ и сбора данных должна быть построена с применением современных средств передачи, ввода и сохранения

изображений с высокой пропускной способностью, должно быть обеспечено применение современных средств микроэлектроники с длительным жизненным циклом.

## 2.2. Основные технические характеристики и требования

### 2.2.1. Состав КФПУ

В состав КФПУ должны входить:

- фотоприемник на базе ПЗС в оптико-криогенном блоке (фотоприемная камера);
- система охлаждения;
- блок управления (контроллер);
- блок интерфейсный для подключения к компьютеру;
- блок питания;
- комплект электрических и оптических соединительных кабелей;
- программное обеспечение;
- комплект эксплуатационной документации;
- комплект упаковки и тары.

### 2.2.2. Требования к фотоприемной камере

КФПУ должно иметь вакуумированную фотоприемную камеру с системой охлаждения замкнутого цикла. Фотоприемник изделия должен соответствовать следующим техническим характеристикам:

- тип ПЗС матриц – CCD261-84 (E2V Technologies);
- размер пикселя -  $15 \times 15$  мкм;

Рабочая температура фотоприемника должна быть в диапазоне от  $-100^{\circ}\text{C}$  до  $-120^{\circ}\text{C}$  при нестабильности температуры фотоприемника не более  $0.5^{\circ}\text{C}$ . Фотоприемная камера должна иметь в качестве оптического входа кварцевое стекло.

### 2.2.3. Требования к контроллеру КФПУ

Контроллер КФПУ должен обеспечивать:

- управление от компьютера посредством оптической линии связи длиной не менее 25 м;
- передачу изображений в управляющий компьютер, сохранение изображений на жестких дисках, дальнейшую передачу изображений по сети в серверные компьютеры;
- управление внешним затвором синхронно с экспозицией;

- телеметрический контроль и программное задание управляющих напряжений ПЗС-детектора и температуры ПЗС-детектора;

- диагностику и тестирование работоспособности основных составных частей изделия, включая линию связи.

Контроллер КФПУ должен иметь три скорости считывания, иметь возможность бинирования заряда с кратностью  $2 \times 2$  и  $4 \times 4$ .

Максимальное время экспозиции должно составлять не менее 1000 сек, минимальное время экспозиции – не более 120 мсек.

#### 2.2.4. Фотометрические характеристики КФПУ

КФПУ должно иметь следующие фотометрические характеристики на максимальной скорости считывания (время считывания – не более 5 сек):

- типичный шум считывания  $-8 e^-$ ;
- максимальный шум считывания – не более  $12 e^-$ ;
- типичный динамический диапазон сигнала изображения – 16600.

КФПУ должно иметь следующие фотометрические характеристики на минимальной скорости считывания (время считывания – не более 40 сек):

- типичный шум считывания  $-5 e^-$ ;
- максимальный шум считывания – не более  $8 e^-$ ;
- типичный динамический диапазон сигнала изображения – 40000 (перекрытие этого диапазона может обеспечиваться путем переключения усиления в видеоканале).

#### 2.2.5. Эксплуатационные требования

Составные части изделия, монтируемые на открытом воздухе должны сохранять работоспособность при следующих условиях эксплуатации:

- температура окружающей среды от  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность до 80% при температуре  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- атмосферное давление от 450 мм. рт. ст. до 760 мм. рт.ст.

Составные части изделия, монтируемые в отапливаемом помещении должны сохранять работоспособность при следующих условиях эксплуатации:

- температура окружающей среды от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность до 80% при температуре  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- атмосферное давление от 450 мм. рт. ст. до 760 мм. рт.ст.

### 2.2.6. Требования к программному обеспечению

В состав изделия должно входить программное обеспечение, способное функционировать под управлением операционных систем Windows XP и Windows 7. В состав программного обеспечения должны входить программа управления КФПУ и набор программных компонентов для разработчика (SDK).

Программа управления КФПУ в интерактивном режиме должна иметь пользовательский интерфейс в виде диалогового окна управления процессом сбора данных с развитой системой меню и дополнительными окнами для визуализации, телеметрии и вывода графической и текстовой информации. Программа управления КФПУ для своей работы должна использовать SDK.

Компоненты SDK должны обеспечивать программный интерфейс (API) для полноценного использования КФПУ из внешних программ.

В программе управления должны быть реализованы следующие основные функции:

- инициализация оборудования;
- задание и контроль уровней управляющих сигналов ПЗС-детектора;
- управление всеми параметрами накопления и считывания;
- запуск экспозиции;
- прием видеоданных;
- визуализация данных;
- запись данных на жесткий диск в FITS-формате (16 бит);
- ведение протоколов исполняемых команд.

## 3. Методология проектирования

При техническом проектировании КФПУ были приняты следующие приоритетные положения:

- обеспечение полного выполнения технических требований при минимизации аппаратно-программных затрат посредством нахождения эффективных архитектурных решений, унификации физического и программного интерфейсов КФПУ с существующими решениями, унификации схемной реализации модулей контроллера для минимизации ассортимента радиоэлементов;
- обеспечение надежности проектирования за счет использования и модернизации преимущественно уже испытанных технических решений;
- интеграция контроллера и фотоприемной камеры в одно устройство для



минимизации занимаемого объема и оптимизации многочисленных электрических соединений;

- модульное построение контроллера, позволяющее наращивать производительность.

Отличительной особенностью разрабатываемого фотоприемного устройства является высокая производительность формирования и передачи цифровых изображений - до 64 Мбайт/с. Такая полоса пропускания должна обеспечиваться интерфейсом между камерой и компьютером сбора данных, внешними и внутренними шинами компьютера, интерфейсом к дисковой системе хранения и самой дисковой системой. В мировой практике создания высокопроизводительных систем машинного зрения реализация широкой сквозной полосы пропускания является одной из ключевых задач.

#### 4. Выбор криорефрижератора для фотоприемного устройства

В настоящее время производится достаточно обширный спектр криорефрижераторов замкнутого цикла, основанных на термодинамических циклах Стирлинга, Джоуля – Томсона, Гиффорда – МакМагона или на принципах пульсационной трубы.

Далее мы рассмотрим только те виды промышленного оборудования, которые удовлетворяют следующим требованиям:

- Конструктивная совместимость с разрабатываемыми фотоприемными камерами по весогабаритным характеристикам;
- Минимальные вибрации холодной ступени криорефрижератора;
- Минимальный вес криорефрижератора для снижения динамических нагрузок на трубу телескопа;
- Длительный ресурс наработки на отказ.

Надо отметить, что если холодопроизводительность и ресурс систем производители гарантируют, то вибрационные характеристики холодных ступеней в большинстве случаев не известны. Подчас информацию о вибрациях можно получить только из публикаций потребителей оборудования, самостоятельно выполнивших экспериментальные исследования.

Применение криорефрижератора типа CryoTiger представляется наиболее эффективным техническим решением задачи охлаждения приемника изображения, в рамках данного проекта, ввиду:

- 1) Большого ресурса системы;

- 2) Наиболее низкого уровня вибраций в криоголовке, по причине отсутствия в ней подвижных механизмов;
- 3) Гибкой коммутирующей системы между криоголовкой и компрессором, позволяющей использовать компрессор вне башни телескопа;
- 4) Возможности подобрать нужное значение хладопроизводительности, при помощи выбора газовой смеси.

## 5. Описание конструкции КФПУ

Камера для охлаждаемого твердотельного мозаичного приемника изображения обеспечивает охлаждение детектора в диапазоне температур от  $-100^{\circ}\text{C}$  до  $-120^{\circ}\text{C}$  и несет на себе управляющую электронику. В качестве фотоприемника используются ПЗС-матрицы CCD261-84 производства E2V Technologies.

ПЗС-камера конструктивно состоит из трех частей: системы охлаждения, оптической головки и корпусов управляющей электроники.

Конструкция системы охлаждения камеры разработана с учетом возможного применения охлаждающей системы замкнутого цикла CryoTiger производства компании IGC-Polycold Systems. На одном из корпусов теплообменников монтируется вакуумный сильфонный вентиль для откачки камеры. На фланце также предусмотрены места для крепления модулей управляющей электроники.

Оптическая головка является базовым элементом конструкции ПЗС-камеры. Корпус оптической головки сверху имеет фланец, который служит для герметичного соединения с охлаждающей системой. На нижнем фланце имеется кварцевое оптическое окно и отверстия для крепления камеры.

Во внутреннем объеме головки размещается узел подвески детектора. На верхнем фланце оптической головки крепится опорное кольцо узла подвески детектора. В кольце имеются плоскости для крепления теплоизолирующих стоек. К нижним концам стоек крепится термостабилизированная платформа, изготовленная из суперинвара типа 32НКД. Поверхности платформы золотятся. Стабилизацию и контроль температуры осуществляет узел терморегулятора камеры, который обеспечивает долговременную стабильность температуры детектора не хуже  $0.5^{\circ}\text{K}$  в диапазоне от  $-100$  до  $-120^{\circ}\text{C}$ . На верхней плоскости платформы располагаются платиновые датчики температуры и нагревательные элементы системы термостабилизации, а также теплопроводы теплообменников микрокриогенных систем.

На верхней поверхности опорного кольца узла подвески монтируется радиатор и печатные платы предварительных усилителей видеосигналов ПЗС-матрицы. Размещение этих устройств в вакуумном объеме камеры обусловлено высоким быстродействием детектора и необходимостью электрического согласования управляющих сигналов.

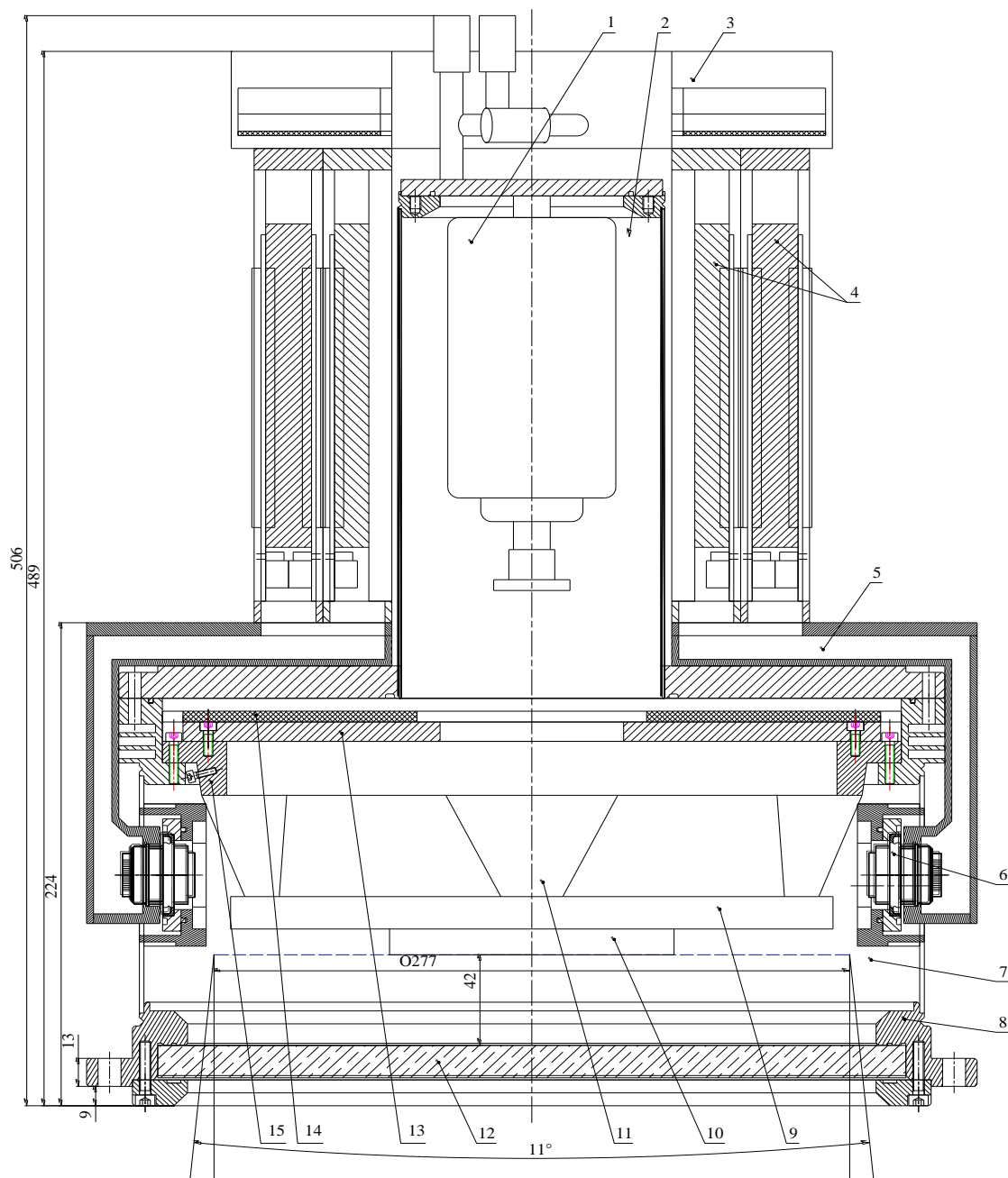


Рисунок Г.1 - Разрез крупноформатной ПЗС-камеры

На рисунке Г.1 приведена крупноформатная камера в разрезе.

Обозначения на рисунке Г.1:

1. Теплообменник микрокриогенной системы CryoTiger.
2. Корпус микрокриогенной системы.
3. Корпус контроллера ПЗС-камеры.
4. Корпус электроники ПЗС-камеры.
5. Соединитель.
6. Герметические разъёмы.
7. Корпус оптической головки.
8. Нижний фланец оптической головки.
9. Термостабилизированная платформа мозаичного детектора.
10. Детектор.
11. Теплоизолирующие стойки.
12. Оптическое окно.
13. Радиатор платы предусилителей и защиты ПЗС-матриц.
14. Плата предусилителей и защиты ПЗС-матриц.
15. Опорное кольцо узла повески детектора.

## 6. Контроллер КФПУ

При выборе архитектуры и конструкции контроллера для КФПУ были сформулированы и приняты во внимание следующие основные требования:

- построение универсального видеоканала с большим динамическим диапазоном, позволяющего обрабатывать сигнал на различных скоростях считывания, с реализацией максимально возможной скорости считывания для выбранного типа детектора;
- малый шум считывания - шум видеоканала должен быть значительно ниже собственного шума детектора;
- компактная и модульная конструкция контроллера с возможностью наращивания количества видеоканалов и каналов управления детектором;
- фотоприемное устройство может быть значительно удалено от управляющего компьютера;
- желательно использование стандартного внешнего интерфейса контроллера КФПУ для сопряжения с управляющим компьютером;
- должна быть обеспечена передача и сохранение большого потока цифровых данных от КФПУ;
- полная программируемость и телеметрический контроль режимов

КФПУ;

- малая мощность, выделяемая контроллером и фотоприемной камерой;
- широкий рабочий температурный диапазон КФПУ;
- некоторая избыточность, позволяющая изменять тип детектора.

Основополагающим требованием из перечисленных является достижение низких шумов считывания. Для реализации этого требования в контроллере необходимо осуществить целый комплекс мер, а именно:

- единственный генератор задающей частоты в камерной электронике;
- применение сверхмалошумящих ИМС усилителей в видеоканале;
- эффективная противозумовая фильтрация в канале обработки сигнала;
- тщательная развязка и древовидная топология аналоговых и цифровых схемных земель;
- экранирование, тщательная разводка и согласование сигнальных линий, снижающие помехи.

## 7. Программное обеспечение управляющего компьютера

Наименование программы – “Система сбора данных и управления крупноформатным фотоприемным устройством для УНУ БТА”.

Назначение программного обеспечения – получение, визуализация и сохранение данных, поступающих от КФПУ; а также управление; настройка, телеметрия и диагностика фотоприемного устройства.

В состав программного обеспечения должны входить программа управления КФПУ и набор программных компонентов для разработчика (SDK).

Программа управления КФПУ в интерактивном режиме должна иметь пользовательский интерфейс в виде диалогового окна управления процессом сбора данных с развитой системой меню и дополнительными окнами для визуализации, телеметрии и вывода графической и текстовой информации. Программа управления КФПУ для своей работы должна использовать SDK.

Компоненты SDK должны обеспечивать программный интерфейс (API) для полноценного использования КФПУ из внешних программ.

В программе управления должны быть реализованы следующие основные функции:

- инициализация оборудования, запуск экспозиции, управление контроллером КФПУ посредством набора программных компонентов

для разработчика (SDK);

- осуществление интерфейса между пользователем и видеосистемой;
- прием большого потока видеоданных;
- запись данных на жесткий диск в FITS-формате (16 бит);
- визуализация и экспресс-анализ данных;
- задание и контроль уровней управляющих сигналов ПЗС-детектора;
- тестирование фотоэлектрических характеристик видеосистемы.

## 7.1. Требования к системе сбора и перечню реализованных функций

Программный продукт должен состоят из двух отдельных модулей:

- взаимодействие с контроллером;
- визуализация и предварительный анализ изображений.

Все модули должны иметь удобный, интуитивно понятный пользовательский интерфейс, развитую систему меню и справочную систему.

В модуле взаимодействия с контроллером должны быть реализованы следующие функции:

### 1) Управление камерой и получение изображений

- управление всеми параметрами видеосистемы (установка времени экспозиции, очистка детектора, считывание фрагмента);
- получение серии кадров с выборочной визуализацией, с возможностью задавать число кадров в серии и частоту просматриваемых кадров;
- получение исчерпывающей информации о состоянии видеосистемы и выполняемых ею операциях, вывод в строке статуса сообщений об ошибках.

### 2) Настройка, телеметрия и диагностика

- задание и контроль уровней управляющих сигналов;
- задание и контроль температуры приемника изображения;
- тестирование и диагностика системы, включая линию связи;
- тестирование фотоэлектрических характеристик системы, вывод результатов в виде графиков.

### 3) Визуализация и хранение данных в FITS-формате

- изменение масштаба, включение "лупы" для рассматривания отдельных фрагментов изображения;

- визуализация с возможностью модификации палитры и таблицы преобразования интенсивности;
- вывод координат курсора и значения данных в выбранной точке;
- выделение различных уровней значений для визуального определения ярких объектов с помощью задания различных шкал для визуализации.

В модуле должны быть реализованы следующие функции, позволяющие анализировать и преобразовывать изображения:

- вычисление статистических данных;
- анализ сигналов;
- построение разреза изображения по заданным точкам, вывод его в виде графика;
- нахождение координат объекта, FWHM (ширина объекта на полувысоте), моментов второго порядка.

На рисунке Г.2 приведен вид прототипа модуля визуализации и анализа данных.

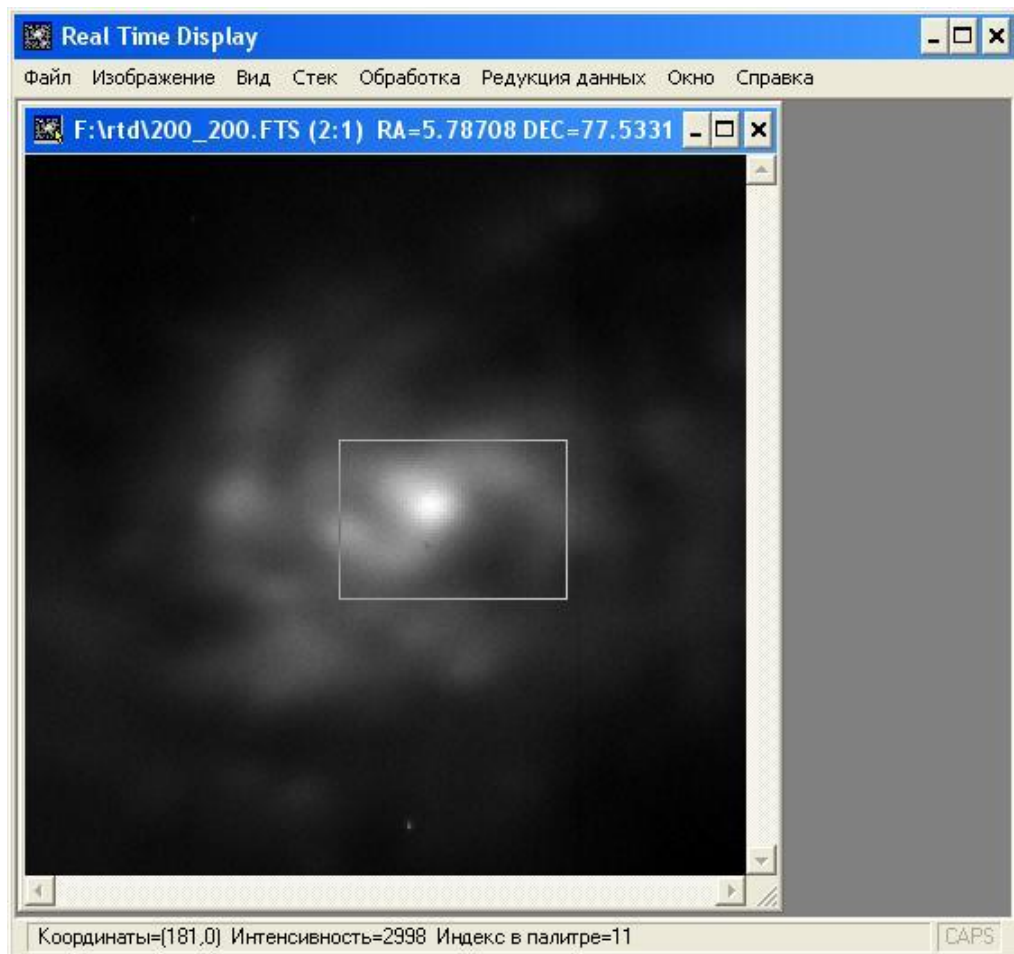


Рисунок Г.2 - Прототип модуля визуализации и анализа данных

## 7.2. Формат файла FITS

Данные изображения записываются как 16 битовые двоичные целые числа со знаком. Двоичные числа хранятся в формате Sparc: сначала записываются старшие байты, затем – младшие. Из каждого значения данных вычитается число 32768, которое записывается в поле BZERO заголовка. Длина каждого HDU-блока всегда кратна 2880 байтам, поэтому, при необходимости, в конце блока записываются нули.

Первичный заголовок файла в формате MEF:

```
SIMPLE =          T / Standard FITS
BITPIX =          16 / Bits per pixel
NAXIS  =          0 / No image data with primary header
EXTEND  =          T / File contains extensions
NEXTEND =          8 / Number of extensions
OBJECT  = '        ' / Object
FILENAME= '        ' / Base filename at acquisition
DETECTOR= '        ' / Detector
DETSIZE = '[1:2048,1:4096]' / Total data pixels
CCDBIN1 =          1 / Binning factor along first axis
CCDBIN2 =          1 / Binning factor along second axis
PIXSIZE1=          15.0 / Pixel size for axis 1 (microns)
PIXSIZE2=          15.0 / Pixel size for axis 2 (microns)
CCD    = 'E2V CCD261-83' / CCD name
ORIGIN  = '        ' / Acquisition system
DATE-OBS= '        ' / Date at start of observation (local)
TIME-OBS= '        ' / Time at start of observation (local)
EXPTIME =          / Measured integration time (seconds)
EXPREQ  =          / Requested integration time (seconds)
TELESCOP= '        ' / Telescope
INSTRUME= '        ' / Instrument
OBSERVER= '        ' / Observers
OBSERVAT= '        ' / Observatory
OBSTYPE = 'Object' / Observation/ Exposure type
CAMTEMP =          / Camera temperature (C)
END
```

Заголовок для изображения ПЗС-матрицы:

```
SIMPLE =          T / Standard FITS
BITPIX =          16 / Bits per pixel
NAXIS  =          2 / Number of axes
NAXIS1 =          2048 / Number of pixel columns
NAXIS2 =          4096 / Number of pixel rows
BZERO  =          32768.0 / Zero factor
BSCALE =          1.0 / Scale factor
EXTVER  =          1 / CCD number in the mosaic
RATE   =          / Readout rate (KPix/sec)
GAIN   =          / Converting gain (e-/ADU)
NODE   = '        ' / Output node (A, B)
COMMENT
END
```