

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор.
_____/А.Л. Шестаков/
« ____ » _____ 2018 г.

Синтезатор высокоточных изображений на LCD-модуле.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ – 12.03.01.62. 2018. 114-283. ВКР

Руководитель, проф. каф. ИНИТ
_____/ Ю.А.Усачёв /
« ____ » _____ 2018 г.

Автор
студент группы КЭ-476
_____/ В.Н. Николаев /
« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтроллер, доц. каф. ИНИТ
_____/ А.С. Волосников /
« ____ » _____ 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Николаев В. Н. Синтезатор высокоточных изображений на LCD-модуле. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-476; 2018, 78 с., 30 ил., библиогр. список – 25 наим.

В настоящее время устройства синтеза высокоточных изображений востребованы в различных сферах деятельности человека. Например, данные устройства используются в космической промышленности для тестирования оптико-электронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов. При использовании в качестве имитаторов астроориентиров дисплея с электронно-лучевой трубкой возникает геометрическая погрешность, которую можно снизить, при использовании в качестве имитатора астроориентиров LCD-модуля, за счет его жестко определенной структуры пикселей.

В данной выпускной квалификационной работе разработан стенд для тестирования оптико-электронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов, в котором в качестве имитатора астроориентиров используется LCD – модуль AG800600BYSCW фирмы Ampire.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР			
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата				
Разработал	Николаев				Синтезатор высокоточных изображений на LCD-модуле	Лит	Лист	Листов
Проверил	Усачёв						4	78
Н.контр.	Волосников					ЮУрГУ Кафедра ИнИТ		
Утвердил	Шестаков							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СТЕНДОВ И ИММИТАТОРОВ АСТРООРИЕНТИРОВ	10
1.1 Обзор основных типов стендов для испытаний оптикоэлектронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов.....	10
1.1.1 Структура стенда на основе двухстепенного подвеса.....	11
1.1.2 Структура стенда с неподвижным оптико-электронным прибором и сканирующим зеркалом.....	13
1.1.3 Структура стенда с одномерным вращением испытуемого оптико-электронного прибора.....	15
1.1.4 Структура стенда с нерасстраиваемой сканирующей системой	18
1.1.5 Структура стенда на основе самокалибрующегося пространственного оптического шарнира.....	24
1.2 Обзор существующих иммитаторов астроориентиров	26
1.2.1 Структура иммитатора звезды и фона видимого диапазона.....	26
1.2.2 Структура иммитатора земли-атмосферы-космоса	29
1.2.3 Структура простейшего иммитатора земли-атмосферы-космоса	33
1.2.4 Структура имитатора земли видимого диапазона	34
1.2.5 Структура имитатора солнца (астроориентира) видимого диапазона	35
1.3 Выводы по разделу 1	37
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО СТЕНДА.....	39
2.1 Разработка функциональной схемы устройства.....	39
2.2 Обзор основных составляющих функциональной схемы.	40
2.2.1 Персональный компьютер.....	40

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						5
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

2.2.2 Модуль преобразователь	43
2.2.3 LCD – модуль.....	51
2.3 Разработка оптической схемы проектируемого стенда.....	60
2.4 Выводы по разделу 2.....	61
3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО СТЕНДА	62
3.1 Разработка блок-схемы и описание работы программы.....	62
3.1.1 Разработка блок-схемы	62
3.1.2 Описание работы программы.....	65
3.2 Разработка кода программы в среде разработки IAR Embedded Workbench	66
3.3 Выводы по разделу 3.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	72

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						6
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Развитие космической техники во многом связано с совершенствованием систем управления космическими аппаратами. В связи с высокими и постоянно возрастающими требованиями к точности таких систем, с необходимостью обеспечения автономности их функционирования в качестве датчиков первичной информации используются оптико-электронные приборы, определяющие угловое положение аппарата относительно астрономических источников излучения (астроориентиров) — звезд, Солнца, планет. Эти приборы на современных космических аппаратах могут обеспечивать в составе системы управления решение четырех основных задач — астроориентации, астрокоррекции, астронавигации и определения положения (индикации) осей космического аппарата [1].

Задача астроориентации заключается в ориентировании космического аппарата или устройства расположенного на нём в инерциальной системе отсчёта по показаниям астроприборов.

При решении задачи астрокоррекции показания астроприборов используются для коррекции положения осей космического аппарата.

В задаче астронавигации показания приборов используются для определения параметров орбиты и местоположения на ней космического аппарата.

Задача индикации положения осей космического аппарата предполагает точное определение направления осей аппарата.

Существует несколько типов приборов ориентации и навигации космических аппаратов: звездные приборы, солнечные приборы, земные приборы, где в качестве астроориентиров выступают звезды, солнце и планеты соответственно [2].

Использование данных приборов без испытаний невозможно. Испытание приборов в космосе непосредственно на космических аппаратах неосуществимо в виду дороговизны таких испытаний и непредсказуемых последствий в случае отказа приборов в ходе испытаний.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

В большинстве случаев для испытания приборов ориентации и навигации космических аппаратов в качестве задатчиков изображений используются мониторы с электронно-лучевой трубкой.

В данной выпускной работе речь пойдет об использовании LCD-технологии.

Жидкокристаллические (LCD) – модули являются одним из основных средств вывода информации для современных цифровых систем, представляющие собой недорогое и удобное решение, позволяющие сэкономить время и ресурсы при разработке новых изделий. Такие устройства отображения обеспечивают воспроизведение большого объема информации при хорошей различимости и низком электропотреблении, благодаря чему широко используются в измерительных приборах, медицинском оборудовании, промышленном оборудовании, информационных системах, аппаратуре с автономным питанием [3, с.1].

По сравнению с LCD электронно-лучевая трубка имеет большую геометрическую погрешность из-за своей структуры, а LCD имеет жестко определенную структуру пикселей, поэтому при правильной коллибровке достигается высокая точность воспроизведения геометрических параметров имитируемого изображения.

При проведении испытаний приборов ориентации и навигации космических аппаратов в качестве задатчиков изображений используются различные источники света для имитации определенного объекта.

Например, для имитации звезды используются лампы, набор линз, светофильтров и объективов. В качестве иммитатора земли используют инфракрасный излучатель [2].

Использование разных типов иммитаторов на одном и том же стенде приводит к появлению погрешности в ходе испытаний.

Использование LCD модуля в качестве иммитатора позволит уменьшить количество используемых в испытаниях иммитаторов и снизить погрешность.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Учитывая свойства LCD – модулей и возможность создания на их основе устройств синтеза геометрически высокоточных изображений, имеющих как статические, так и динамические параметры, необходимые для испытания действующих и перспективных оптико-электронных приборов, следует считать эту проблему актуальной.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка синтезатора высокоточных изображений на LCD модуле.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- 1) Рассмотреть основные принципы построения стендов и иммитаторов астроориентиров используемых для проведения испытаний оптикоэлектронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов;
- 2) Разработать функциональную и оптическую схемы проектируемого стенда и подобрать необходимые элементы;
- 3) Разработать программное обеспечение для проектируемого стенда.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

1 ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СТЕНДОВ И ИММИТАТОРОВ АСТРООРИЕНТИРОВ

Задачи раздела:

- произвести обзор основных типов стендов для испытаний оптикоэлектронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов;
- рассмотреть существующие иммитаторы астроориентиров.

1.1 Обзор основных типов стендов для испытаний оптикоэлектронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов

В начале обзора речь пойдет о традиционных вариантах построения стендов, использующихся для тестирования и определения погрешностей оптикоэлектронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов. Также данные стенды называют точностными. Эти стенды по сравнению с другими наиболее сложные. Погрешности углового положения их визирных линий относительно посадочного места под прибор, определяющие точность стенда, в несколько раз меньше погрешностей испытываемых на них современных ОЭП ориентации и навигации КА, погрешности измерений которых от единиц угловых секунд до единиц минут [2].

Визирная линия – линия, соединяющая вторую главную точку объектива астрономического или геодезического оптического инструмента с точкой пересечения средних нитей сетки в фокальной плоскости инструмента [4].

В лучшем случае визирная линия совпадает с оптической осью инструмента, если точка пересечения средних нитей сетки лежит точно на оптической оси.

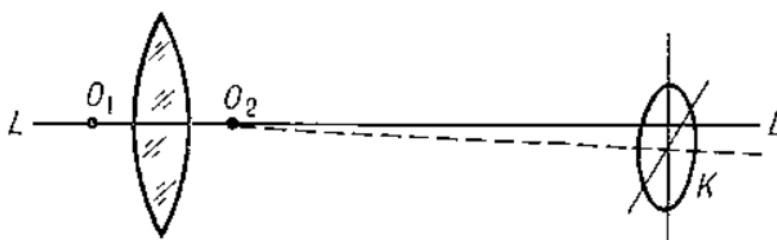


Рисунок 1.1 – Визирная линия

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

На рисунке 1.1: LL – оптическая ось; O1 и O2 – первая и вторая главные точки объектива; К – сетка нитей в фокальной плоскости; O2К – визирная линия.

1.1.1 Структура стенда на основе двухступенного подвеса

Для проведения точностных испытаний оптико-электронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов наибольшее распространение получил тип стенда с посадочным местом в двухступенном подвесе, представленный на рисунке 1.2.

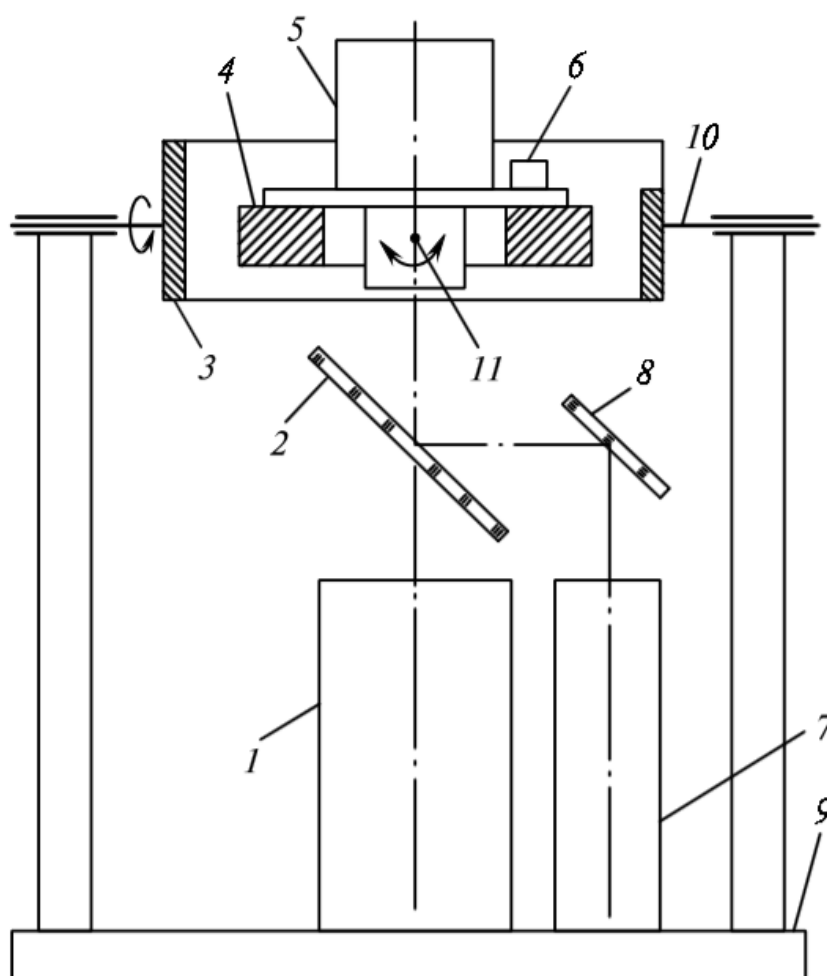


Рисунок 1.2 – Стенд с посадочным местом в двухступенном подвесе

На рисунке 1.2 цифрами обозначены: 1 — имитатор астроориентира; 2 — светоделительная пластина; 3 — внешняя рамка подвеса; 4 — внутренняя рамка

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

подвеса; 5 — испытуемый ОЭП ориентации и навигации КА; 6 — зеркальная призма (куб); 7 — имитатор оптической помехи; 8 — плоское зеркало; 9 — основание; 10 — ось внешней рамки подвеса; 11 — проекция оси внутренней рамки подвеса.

Излучение от имитатора астроориентира (цели) 1, установленного на основании 9, пройдя светоделительную пластину 2, попадает во входной зрачок испытуемого астроприбора 5, установленного в двухступенном подвесе стенда. Оси подвеса взаимоперпендикулярны. При проектировании стенда стремятся, чтобы эти оси пересекались в центре входного зрачка испытуемого астроприбора, точка 11 на рисунке 2. На осях подвеса установлены датчики углов поворота его рамок и привода для их разворота (ручные или электрические). Обычно имитатор астроориентира представляет собой коллимирующий объектив, который формирует параллельные пучки излучения. В этом случае небольшая децентрировка выходного зрачка коллимирующего объектива относительно входного зрачка испытуемого астроприбора не приводит к снижению точности измерений. В этом случае входной зрачок испытуемого астроприбора является выходным зрачком имитатора астроориентира. Однако, если в качестве имитатора астроориентира используется, например, круглый плоский инфракрасный излучатель (имитатор Земли), установленный на конечном расстоянии на основании 9, то в этом случае децентрировка центра входного зрачка испытуемого астроприбора (земного ИК-прибора) относительно нормали, проведенной из центра окружности указанного круглого излучателя, приводит к погрешности угловых измерений, равной примерно C/L , где C — указанная децентрировка; L — расстояние от имитатора до центра входного зрачка астроприбора [2].

Использование LCD – модуля в качестве имитатора излучения астроориентиров позволит уменьшить погрешность отклонения визирной линии, а также позволит увеличить точность стенда за счёт своей пиксельной структуры, имеющей постоянные геометрические параметры.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

В большинстве случаев посадочное место рассматриваемого типа станда выполняют таким образом, чтобы можно было устанавливать испытуемый прибор в два положения: «прямое» и с возможностью поворота прибора на посадочном месте вокруг приборной визирной линии на 180°. Благодаря этому в ряде случаев удается по специальной методике определить погрешность испытуемого прибора и самого станда.

Основным недостатком рассмотренного станда является то обстоятельство, что испытуемый прибор устанавливается непосредственно на двухступенном подвесе. А это приводит к тому, что конструкция его рамок и опор должна исключать влияние массы проверяемого прибора на стабильность геометрической схемы подвеса.

1.1.2 Структура станда с неподвижным оптико-электронным прибором и сканирующим зеркалом

Также большое распространение получил станд с неподвижным посадочным местом и зеркальной сканирующей системой, поскольку исключал недостатки станда с посадочным местом в двухступенном подвесе. Станд с неподвижным посадочным местом изображен на рисунке 1.3.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						13
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

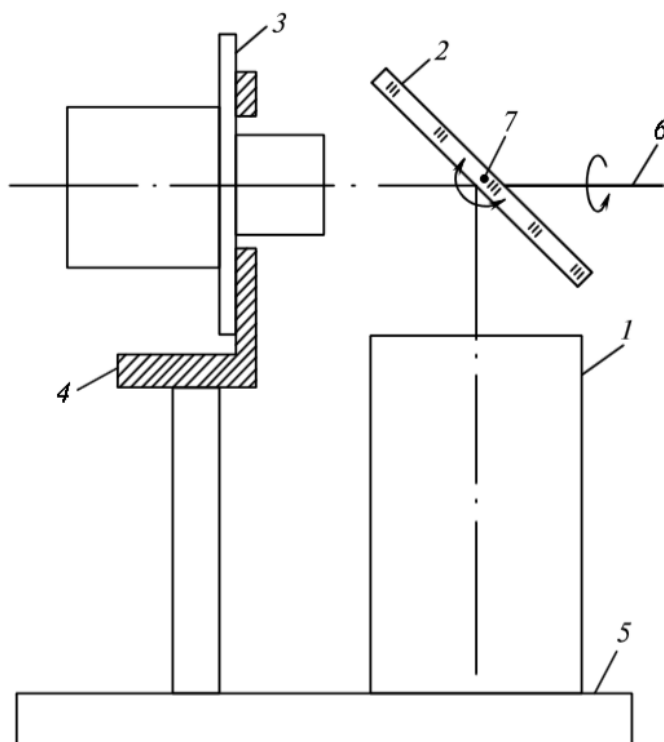


Рисунок 1.3 – Стенд с неподвижным посадочным местом и зеркальной сканирующей системой

На рисунке 1.3 цифрами обозначены: 1 — имитатор астроориентира; 2 — сканирующее плоское зеркало; 3 — испытуемый ОЭП ориентации и навигации КА; 4 — посадочное место; 5 — основание; 6 — ось внешней рамки подвеса; 7 — проекция оси внутренней рамки подвеса.

Излучение от имитатора астроориентира 1, установленного на основании 5, отразившись от плоского сканирующего зеркала 2, проходит во входной зрачок испытуемого астроприбора 3, размещенного на неподвижном посадочном месте 4. Зеркало 2 установлено подвижно в двухстепенном подвесе. Оси подвеса, как и в предыдущем стенде, взаимно перпендикулярны. При повороте зеркала вокруг оси 7 визирная линия имитатора отклоняется на угол, который называется углом полярного радиуса, а при повороте зеркала вокруг оси 6 визирная линия имитатора отклоняется на угол, который называется полярным. При этом происходит вращение изображения, которое необходимо учитывать при работе с этим стендом. Для того чтобы избавиться от эффекта вращения изображения

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						14
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

необходимо использовать два плоских зеркала в сканирующей системе этого стенда. Но тогда происходит существенное увеличение расстояния от выходного зрачка имитатора до входного зрачка испытуемого прибора, что приводит к увеличению габаритных размеров сканирующей системы и самого имитатора.

Основным недостатком стенда с неподвижным посадочным местом и зеркальной сканирующей системой является то, что при повороте зеркала 2 вокруг оси 7 на угол ϵ визирный луч имитатора отклоняется на угол 2ϵ . А это означает, что погрешность выставки углового положения визирной линии имитатора увеличивается в 2 раза по сравнению с угловой погрешностью датчика угла поворота, установленного на оси 7 [2].

1.1.3 Структура стенда с одномерным вращением испытуемого оптоэлектронного прибора

Так же появилась третья схема стенда, которая учитывала недостатки первых двух схем, в которой двухступенной подвес исключен, а посадочное место стенда установлено подвижно с возможностью вращения только относительно одной оси. Данная схема представлена на рисунке 1.4.

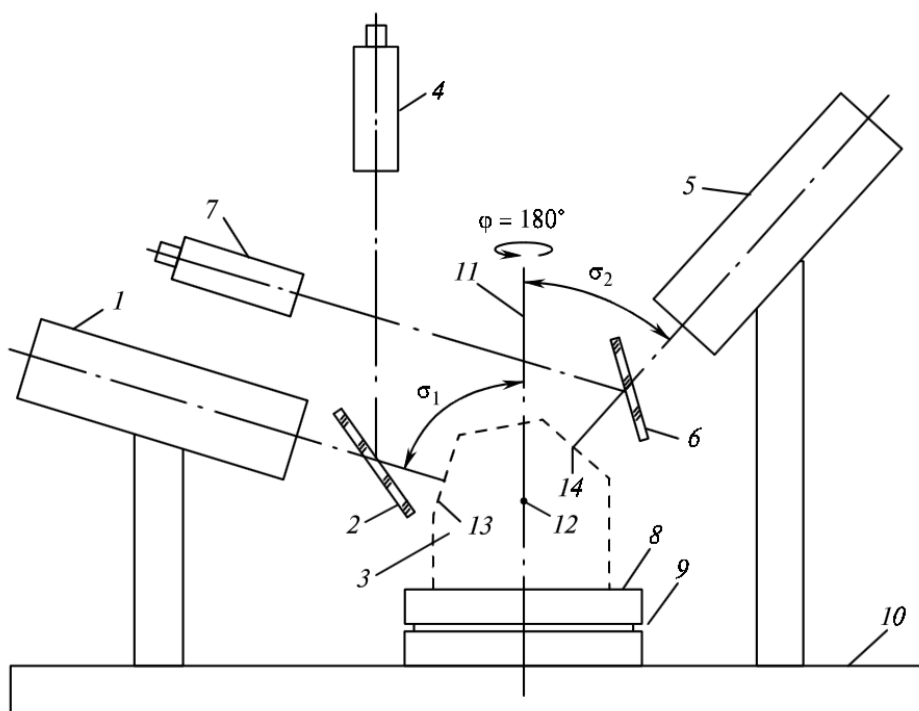


Рисунок 1.4 – Стенд с вращающимся посадочным местом

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						15
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

На рисунке 1.4 цифрами обозначены: 1, 5 — имитаторы астроориентира; 2, 6 — светоделительные пластины; 3 — оптический калибр; 4, 7 — автоколлиматоры; 8 — посадочная плоскость стенда; 9 — датчик угла поворота; 10 — основание; 11 — ось вращения датчика угла поворота; 12 — точка пересечения визирных линий имитаторов с осью вращения датчика угла поворота; 13, 14 — зеркальные грани.

На основании 10 установлен датчик угла поворота 9, на подвижной части которого размещено посадочное место стенда 8. Датчик угла поворота может быть выполнен, например, в виде прецизионной делительной головки или многогранной зеркальной призмы, установленной с возможностью вращения относительно оси 11. Углы нормалей граней призмы измерены и паспортизованы относительно «нулевой» грани призмы. Фиксация угла поворота многогранной призмы с посадочным местом осуществляется автоколлиматором, установленным на основании 10, визирная линия которого в исходном положении многогранника совмещена с нормалью «нулевой» грани призмы [2].

При практической реализации этих стендов количество имитаторов астроориентиров не менее четырех. Они устанавливаются на основании стенда вокруг оси 11 под разными углами σ_n , образованными этой осью и визирными линиями имитаторов ($\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3 \neq \dots \neq \sigma_n$). Плоскости, в которых лежат эти углы σ_n , повернуты вокруг оси 11 относительно плоскости угла σ_1 на углы $\phi_1, \phi_1, \dots, \phi_{n-1}$.

Для выставки и контроля углового положения визирных линий имитаторов астроориентиров используется оптический калибр 3, светоделители 2, 6 и автоколлиматоры 4, 7. Оптический калибр 3 представляет собой стеклянную призму с зеркальными гранями 13, 14 (на рис. 4 показан штриховой линией). Посадочное место калибра идентично посадочному месту испытуемого прибора. Угловое положение нормалей граней 13, 14 относительно посадочного места призмы, которые измерены и аттестованы с высокой точностью, определяют угловое положение визирных линий имитаторов астроориентиров на стенде.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						16
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Далее происходит процесс выставления визирных линий для каждого из используемых имитаторов астроориентиров, после чего оптический калибр 3 снимается и на посадочное место устанавливается испытуемый прибор.

Существует ряд модификаций данного типа стенда. В ряде стендов нормаль к посадочной плоскости составляет заданный угол с осью вращения датчика угла поворота (наклонное посадочное место). Имеется стенд, у которого нет датчика угла поворота, а посадочное место стенда закреплено непосредственно на его основании.

На основе результатов нескольких измерений, проведенных на стенде с конкретным образцом угломера, и математической модели угломера составляется система уравнений, в которой коллимационная ошибка, наклоны горизонтальной и вертикальной осей входят как искомые величины. В результате решения этой системы уравнений вычисляются значения коллимационной ошибки, наклонов горизонтальной и вертикальной осей подвеса этого конкретного угломера. Далее указанные значения в качестве поправок (паспортных значений) используются для конкретного угломера в его алгоритме измерений угловых координат визируемой цели, в том числе и целей, имитируемых на данном стенде.

Недостатком рассмотренного типа стенда является невозможность изменения углов σ и его большие габаритные размеры.

При разработке оптических и оптико-электронных угломерных приборов с использованием оптико-механических сканирующих систем для достижения требуемой точности этих приборов необходимо обеспечить формирование высокого качества изображения в широком спектральном диапазоне и высокую стабильность углового положения сканирующего пучка. К указанным приборам относятся и приборы космической техники как бортового, так и наземного назначения: построители местной вертикали, стенды для проверки точности звездных приборов и т.д.

Перед началом эксплуатации прибора необходимо производить калибровку погрешностей. Однако калибровка погрешностей, требует использования

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						17
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

высокоточного метрологического оборудования и позволяет учитывать влияние только систематических погрешностей. Для обеспечения калибровки погрешностей в процессе работы сканера (самокалибровки) необходима разработка дополнительных устройств, например, встроенных автоколлиматоров, приводящих к усложнению конструкции прибора.

Нерасстраиваемые, т.е. нечувствительные к нарушениям геометрической схемы, сканирующие системы обеспечивают высокостабильное угловое положение сканирующего пучка при углах его отклонения порядка нескольких градусов. В этом случае не требуется использования высокоточных осевых систем, методов калибровки и систем самокалибровки и т.д., что значительно упрощает конструкцию сканеров и не требует применения высокоточного метрологического оборудования.

Среди нерасстраиваемых сканеров сканеры на основе преломляющего клина при широком спектральном диапазоне имеют хроматические aberrации, снижающие качество изображения.

Поэтому наиболее оптимальным путем обеспечения высокого качества изображения в широком спектральном диапазоне и высокой стабильности углового положения сканирующего пучка является разработка зеркальных и зеркально-призматических афокальных нерасстраиваемых безабберационных сканеров [5].

Рассмотрим данные методы построения стендов.

1.1.4 Структура стенда с нерасстраиваемой сканирующей системой

Стенд на основе нерасстраиваемой сканирующей системы представлен на рисунке 1.5.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						18
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

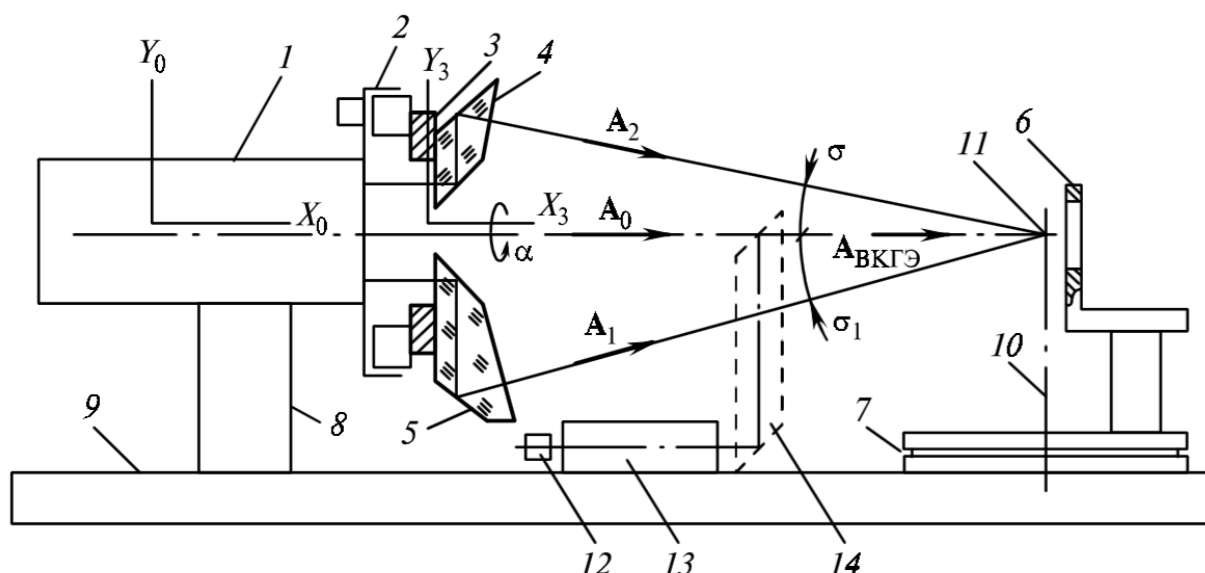


Рисунок 1.5 – Стенд на основе нерасстраиваемой сканирующей системы

На рисунке 1.5 цифрами обозначены: 1 — имитатор астроориентира; 2 — датчик угла поворота; 3 — основание сканирующей системы; 4, 5 — нерасстраиваемые призмы; 6 — посадочное место стенда; 7 — датчик угла поворота; 8 — крепление имитатора; 9 — основание стенда; 10 — ось вращения датчика угла поворота; 11 — точка пересечения визирных линий имитатора с осью вращения датчика угла поворота; 12 — осветитель; 13 — нерасстраиваемый коллиматор; 14 — ромб-призма.

Рассмотрим принцип работы данного стенда. Часть параллельных пучков излучения имитатора астроориентира 1, пройдя полый вал датчика угла поворота 2 и отверстие в основании сканирующей системы 3, войдут в нерасстраиваемые призмы 4, 5. Призмы крепятся на основании 3, а основание — на подвижной части датчика 2. Ось вращения датчика 2, который установлен на имитаторе астроориентира 1, геометрически пересекает точку 11. После прохождения указанных призм пучки лучей, представленные на рисунке векторами A_1 , A_2 , пересекутся в точке 11. Другая часть пучков излучения, показанная в виде вектора A_0 , пройдя полые валы элементов схемы 2, 3, также пересечет точку 11. При установке испытуемого прибора на посадочное место 6 его центр входного зрачка совмещается с точкой 11. Посадочное место 6 установлено на подвижную часть

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						19
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

датчика угла поворота 7, ось вращения которого геометрически проходит через точку 11. Имитатор астроориентира 1 и датчик 7 размещены на основании станда 9. В зависимости от решаемых задач количество нерасстраиваемых призм (элементов) в сканирующей системе может варьироваться от одной до нескольких (например, четырех). Принципы построения этого станда во многом аналогичны станду с вращающимся посадочным местом (рисунок 1.4). Однако имеются и существенные отличия.

Чтобы увеличить число углов наклона имитируемых пучков лучей относительно вектора A_0 ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$), изготавливают несколько сканирующих систем с возможностью их установки на подвижную часть датчика угла поворота 2. Другими словами, сканирующие системы сменные. А это по сравнению с рассмотренным ранее стандом с вращающимся посадочным местом является принципиальным отличием. При этом в силу свойства нерасстраиваемости возможные микроповороты сканирующей системы и ее призм относительно любой гипотетической оси, перпендикулярной визирной линии имитатора (вектору A_0) практически не приводят к изменению углов $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$. Указанные микроповороты обусловлены разными причинами: биением осей в подшипнике, обеспечивающем вращение сканирующей системы вокруг вектора A_0 , погрешностью базировки сканирующей системы при ее переустановке и т. д.

Другое отличие станда с нерасстраиваемой сканирующей системой (рисунок 1.5) от станда с вращающимся посадочным местом (рисунок 1.4) состоит в том, что посадочное место 6 установлено подвижно с возможностью вращения относительно оси 10 датчика угла поворота 7, что позволяет при наличии дискретного набора углов σ ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$) производить сканирование любой точки углового поля испытуемого астроприбора. Другими словами, в любую точку испытуемого прибора можно направить один из векторов, выходящих из сканирующей системы ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$), что невозможно сделать в станде с вращающимся посадочным местом [2].

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						20
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Ряд современных имитаторов астроориентиров в силу некоторых причин имеют временную нестабильность углового положения их визирных линий, что несколько ухудшает результаты точностных испытаний высокоточных астроприборов. В стенде с нерасстраиваемой сканирующей системой предусмотрены возможности для уменьшения влияния этого явления.

Если стабильность во времени углового положения визирной линии имитатора 1 не обеспечивает необходимую точность стенда, то для проведения контроля за указанной стабильностью имитатора можно ввести в состав стенда внешний канал геометрического эталона (ВКГЭ).

Контроль углового положения визирной линии можно проводить по-разному. Можно периодически вводить ромб-призму 14, представленную на рисунке 6, перекрывая при этом центральный пучок лучей имитатора (вектор A_0). Непосредственно испытуемым прибором производится измерение угла между векторами A_0 и $A_{ВКГЭ}$, значение которого потом учитывается в результатах измерений.

Если использовать конструкцию ромб-призмы со светоделителем, то ромб-призма может быть установлена неподвижно, что позволяет проводить измерения угла между векторами A_0 и $A_{ВКГЭ}$ практически в реальном масштабе времени [2].

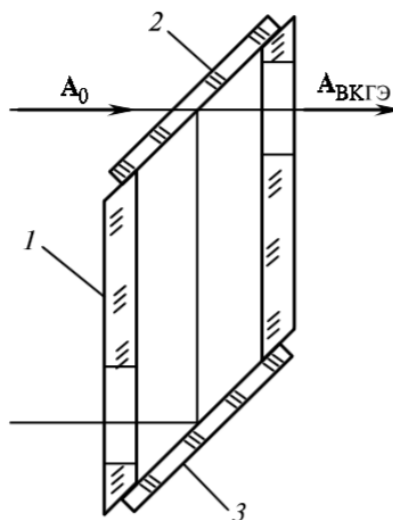


Рисунок 1.6 – Ромб-призма со светоотделителем

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						21
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

На рисунке 1.6 цифрами обозначены: 1 — полый корпус; 2 — плоскопараллельная пластина с нанесенным на нее светоделительным слоем; 3 — плоское зеркало.

Чтобы не применять проверяемый прибор для измерения стабильности имитатора астроориентира и повысить точность контроля углового положения его визирной линии, можно использовать специальный блок, представленный на рисунке 1.7, который состоит из осветителя 4, нерасстраиваемого коллиматора 5 на основании 3, ромб-призмы со светоделителем 6 и регистрирующего устройства 8, содержащего объектив 7, в фокальной плоскости которого установлена матрица чувствительных элементов многоэлементного приемника излучения 9. Ромб-призма 6 периодически вводится в центральный пучок лучей имитатора (вектор A_0). Измерение угла между векторами A_0 и $A_{ВКГЭ}$ производится непосредственно регистрирующим устройством 8. По сравнению с испытуемым астроприбором угловая чувствительность регистрирующего устройства 8 может быть существенно выше. Это может быть достигнуто, например, использованием в нем более длиннофокусного объектива по сравнению с испытуемым прибором.

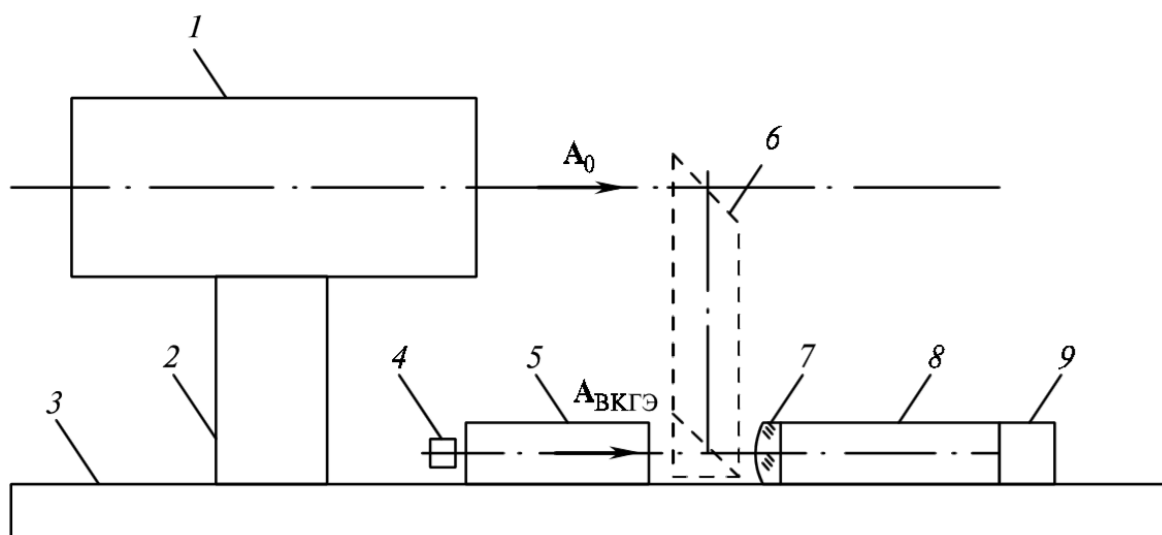


Рисунок 1.7 – Блок контроля углового положения визирной линии имитатора астроориентира

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						22
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

На рисунке 1.7 цифрами обозначены: 1 — имитатор астроориентира; 2 — крепление имитатора; 3 — основание стенда; 4 — осветитель; 5 — нерасстраиваемый коллиматор; 6 — ромб-призма со светоделителем; 7 — объектив; 8 — регистрирующее устройство; 9 — многоэлементный приемник излучения.

В стендах с нерасстраиваемой сканирующей системой для испытаний звездных астроприборов нашел практическое применение и нерасстраиваемый светоделительный клин, представленный на рисунке 1.8.

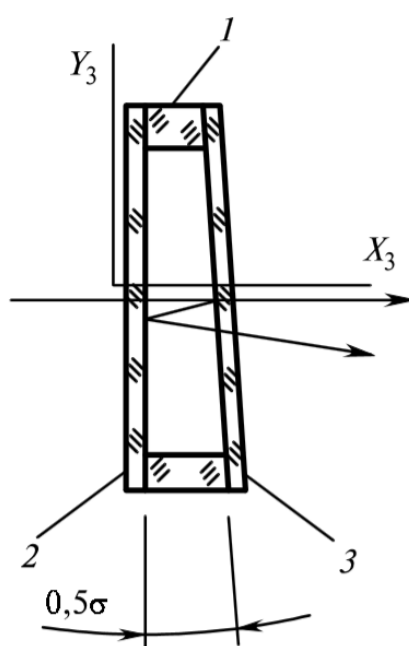


Рисунок 1.8 – Нерасстраиваемый светоделительный клин

На рисунке 1.8 цифрами обозначены: 1 — полый клин; 2, 3 — плоскопараллельные пластины с нанесенными на них светоделительными слоями.

Следует отметить, что обычный преломляющий клин также нерасстраиваемый оптический элемент. Его применению в высокоточных стендах с нерасстраиваемыми сканирующими системами препятствует следующее обстоятельство. В преломляющих клиньях никогда не удастся полностью устранить хроматическую aberrацию как для видимого спектрального диапазона, так и для более широкого рабочего спектрального диапазона испытуемого ОЭП

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						23
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

ориентации и навигации КА. Поэтому при создании точностного стенда на основе преломляющих клиньев для его юстировки и аттестации требуется разработка и изготовление специализированной оптико-электронной юстировочной и проверочной аппаратуры, работающей в спектральной области испытуемого ОЭП [2].

1.1.5 Структура стенда на основе самокалибрующегося пространственного оптического шарнира

Рассмотрим пример построения адаптивного точностного стенда, схема которого представлена на рисунке 1.9(вид сверху).

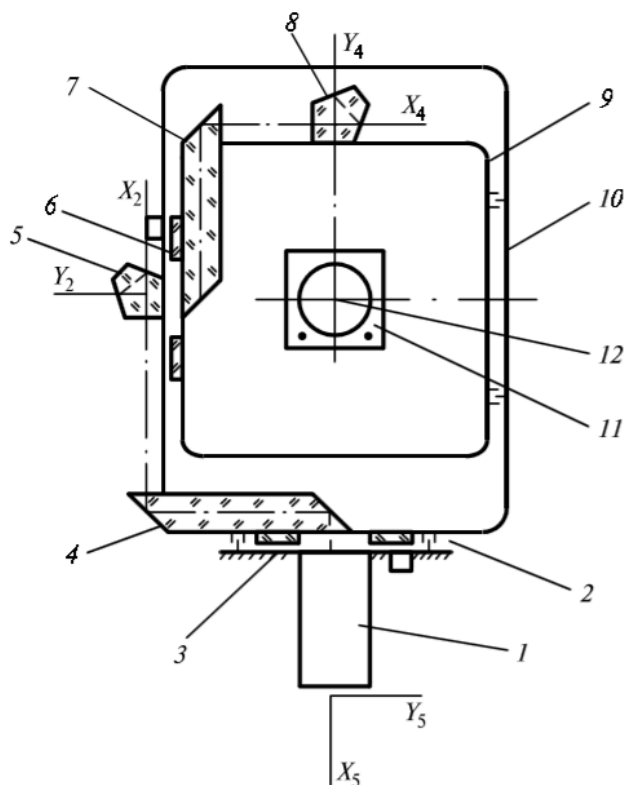


Рисунок 1.9 – Стенд на основе самокалибрующегося пространственного оптического шарнира

На рисунке 1.9 цифрами обозначены: 1 — имитатор астроориентира; 2, 6 — датчики угла поворота; 3 — плоскость кронштейна, установленного на основании

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						24
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

стенда; 4, 7 — ромб-призмы; 5, 8 — пентапризмы; 9, 10 — внутренняя и внешняя рамки подвеса; 11 — посадочное место стенда; 12 — точка пересечения осей подвеса и визирной линии имитатора.

Адаптивный точностный стенд — это стенд с самокалибрующей сканирующей системой. Самокалибрующиеся и комбинированные оптические системы адаптивных угломеров — это ОЭП с подвижной линией визирования. Следует отметить, что методы калибровки, разработанные при создании самокалибрующихся и комбинированных систем, достаточно просто могут быть перенесены в любой высокоточный угломерный ОЭП с подвижной линией визирования для придания ему свойства адаптации к нарушению его геометрической схемы.

Оптический шарнир состоит из датчика угла поворота 2 внешней рамки подвеса 10, на которой последовательно установлены ромб-призма 4 и пентапризма 5. Датчик угла поворота 6 внутренней рамки подвеса установлен на внешней рамке подвеса. На внутренней рамке 9 также последовательно установлены ромб-призма 7 и пентапризма 8. Входные грани пентапризм 5, 8 также снабжены селективными отражательными покрытиями (светоделителями). В этом стенде усложнен имитатор астроориентира 1. Он имеет два канала (канал имитатора и канал автоколлиматора) с единой визирной линией в пространстве изображений (на выходе имитатора). Оси рамок подвеса и визирная линия имитатора на выходе пентапризмы 8 пересекаются в точке 12, под которой расположено посадочное место стенда. С точкой 12 совмещена точка пересечения осей подвеса испытуемого астроприбора с подвижной линией визирования. Для увеличения углового поля уставок визирной линии стенда конструктивно рамки подвеса 9, 10 могут быть выполнены незамкнутыми. Ориентация посадочного места 11 стенда относительно оптического шарнира также может быть иной. С помощью канала автоколлиматора, призм, установленных на рамках подвеса, и ЭВМ стенда осуществляется его самокалибровка. В процессе самокалибровки в ЭВМ поступают результаты

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						25
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

измерений с двух датчиков углов поворота и канала автоколлиматора которые обрабатываются по определенному алгоритму. После чего ЭВМ вычисляет угловые положения визирной линии стенда, в которых нарушения геометрической схемы оптического шарнира исключены.

Основным элементом рассмотренных стендов для испытания оптико-электронных приборов, используемых для ориентации и навигации космических аппаратов, являются иммитаторы излучения астроориентиров.

1.2 Обзор существующих иммитаторов астроориентиров

Имитаторы астрономических источников излучения, как и астроприборы, можно разделить на два типа: универсальные и специализированные. Универсальные иммитаторы могут использоваться как самостоятельные приборы или как узлы, входящие в состав того или иного стенда, предназначенного для испытаний конкретного прибора или группы однотипных приборов. Имитаторы соответственно подразделяются на иммитаторы звезды (звезд), фона, Земли и Солнца. При этом могут иметь место существенные конструктивные различия между иммитаторами, используемыми для имитации источника излучения в качестве ориентира или того же источника в качестве оптической помехи. Как и астроприборы, рассматриваемые иммитаторы астрономических источников излучения могут работать как в видимом спектральном диапазоне, так и в инфракрасном [2].

1.2.1 Структура иммитатора звезды и фона видимого диапазона

Рассмотрим наиболее распространенный универсальный иммитатор звезды и фона видимого диапазона, представленный на рисунке 1.10, который используется в качестве излучателя, имитирующего точечные источники излучения определенного спектрального диапазона и заданного диапазона эквивалентных освещенностей (канал точки) и в заданном диапазоне яркости фона (канал фона).

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						26
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

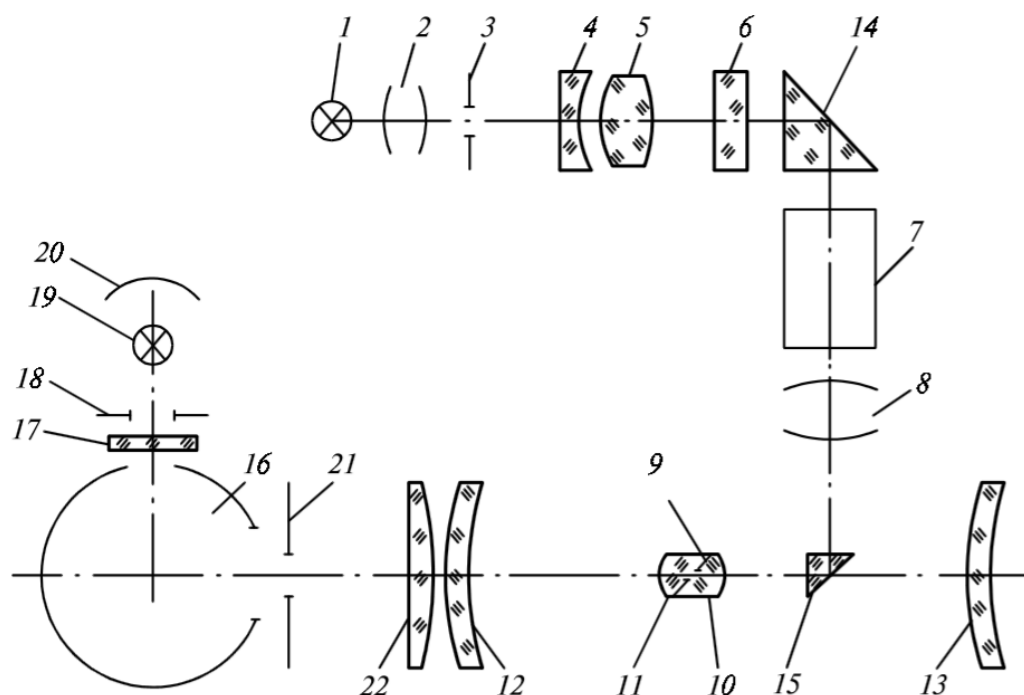


Рисунок 1.10 – Имитатор звезды и фона видимого диапазона

На рисунке 1.10 цифрами обозначены: 1 — лампа; 2 — конденсор; 3 — диафрагма; 4, 5 — объектив; 6 — корригирующий светофильтр; 7 — ослабитель светового потока; 8 — объектив; 9 — точечная диафрагма (полевая диафрагма канала точки); 10, 11 — линзы; 12 — сферическое зеркало (линза); 13 — линзовый мениск; 14, 15 — призмы; 16 — фотометрический шар; 17 — светофильтр; 18 — щелевая диафрагма; 19 — лампа; 20 — рефлектор; 21 — полевая диафрагма канала фона; 22 — линз.

В канале точки светящееся тело лампы накаливания 1 осветительного узла проецируется конденсором 2 в плоскость диафрагмы 3, расположенной в фокальной плоскости объектива 4, 5 коллиматорной трубки, в параллельном пучке лучей которого стоит корригирующий светофильтр 6. Этот светофильтр, обеспечивающий преобразование спектра лампы накаливания 1 в спектр звезды G2-V (спектр Солнца), может дискретно выводиться (вводится) из светового пучка лучей. После коррекции излучение проходит через ослабители светового потока 7 и объективом 8 фокусируется в плоскость точечной диафрагмы, расположенной между линзами 10 и 11. Наклон диафрагмы обеспечивает

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						27
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

исключение сфокусированных бликов в системе «имитатор звезды–проверяемый звездный астроприбор». Преломляющие поверхности линз 10, 11 концентричны центру точечной диафрагмы 9, которая совмещена с фокальной плоскостью объектива, состоящего из сферического зеркала 12 и мениска 13. Призмы 14, 15 служат для изменения направления хода лучей.

Имитатор обеспечивает имитацию звезд с возможностью изменения их блеска в диапазоне 8 звездных величин, что соответствует изменению освещенностей на его выходном зрачке примерно в 1600 раз. Такой перепад освещенностей формируется ослабителем 7, который состоит из трех элементов:

– дискретно вводимой (выводимая) кварцевой пластины с нейтральным светоделителем;

– плавным ослабителем, который представляет собой набор тонких пластинок, параллельных друг другу и в исходном положении параллельных оптической оси имитатора, помещенных в каркас, который может вращаться относительно оси, перпендикулярной оптической оси имитатора; при вращении каркаса с решеткой изменение видимых (в направлении светового потока) зазоров между пластинами изменит световой поток;

– дискретного ослабителя, представляющего собой турель с одним свободным окном и двумя постоянными решетками (ослабителями), введение каждой из них в световой пучок дискретно изменяет световой поток [2].

В канале фона излучение от лампы 19 с рефлектором 20 проходит через щелевую диафрагму 18, плавно регулируемую световой поток, и нейтральный светофильтр 17, дополнительно дискретно ослабляющий световой поток, попадает в фотометрический шар 16 и, многократно отражаясь от стенок шара, равномерно освещает полевую диафрагму 21, находящуюся в фокальной плоскости трехлинзового объектива (линзы 22, 12, 13), после которого идет параллельным пучком.

Следует отметить, что на практике многие образцы имитаторов имеют стабильность положения визирной линии не хуже 1". Имеется также

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						28
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

модификация рассмотренного имитатора, в котором канал фона отсутствует. На основе осветителя с фотометрическим шаром рассмотренного имитатора создан имитатор фона для звездных астроприборов. Его основные технические данные:

- входной световой диаметр объектива 100 мм;
- угловое поле 11°;
- диапазон имитируемых яркостей до ~100 кд/м².

Имитатор фона состоит из осветителя с фотометрическим шаром, с выходным отверстием которого совмещена передняя фокальная плоскость однолинзового объектива.

1.2.2 Структура иммитатора земли-атмосферы-космоса

Высота космического аппарата над Землей может быть весьма различной. Угловые размеры Земли, воспринимаемые с космического аппарата, могут быть от единиц до близких к 180°. При работе прибора на космическом аппарате, движущемся по эллиптической орбите, угловые размеры Земли существенно изменяются во время полета. Для круговых орбит космических аппаратов угловые размеры Земли постоянные.

Угловые размеры Земли 2ϕ , воспринимаемые с космического аппарата, определяются выражением

$$2\phi = 2\arcsin \frac{R+h}{R+H}, \quad (1.1)$$

где R — радиус Земли;

h — высота переходного слоя (принятая высота атмосферы Земли);

H — высота космического аппарата относительно поверхности Земли.

Угловой размер переходного слоя вычисляется по формуле 1.2

$$\Delta\phi = \arcsin \frac{R+h}{R+H} - \arcsin \frac{R}{R+H} \quad (1.2)$$

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						29
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Учитывая, что абберационный (дифракционный) кружок рассеяния объективов современных земных астроприборов, работающих в спектральных диапазонах до 16 (20) мкм, существенно меньше 44', возникает проблема имитации переходного слоя (атмосферы) для низкоорбитальных космических аппаратов в рассматриваемых имитаторах Земли–атмосферы–космоса (ИЗАК).

По сравнению со звездными астроприборами в земных приборах необходимо имитировать значительно больше параметров. Условия имитации для земных приборов существенно отличаются в режиме поиска и измерения. Для режима поиска (режима определения наличия Земли в зоне сканирования угловых полей прибора) характерны большие углы отклонения системы координат космического аппарата от вертикали Земли (до десятков угловых градусов), поэтому часть ИЗАК, имитирующая космос, должна иметь большой угловой размер. Современные земные приборы в режиме измерения должны определять с высокой точностью угловое отклонение системы координат космического аппарата от вертикали Земли в небольшой зоне (около $\pm 2^\circ$) в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для приборов кругового сканирования необходимо имитировать горизонт Земли полностью (замкнутый круг). Для приборов секущего сканирования можно имитировать отдельные участки горизонта (дуги круга, по которым непосредственно проходит траектория сканирования прибора). При этом современные двухкоординатные земные астроприборы секущего сканирования могут иметь два разнесенных в пространстве входных зрачка, что также существенно влияет на конструкцию имитатора Земли–атмосферы–космоса [2].

Создать универсальный ИЗАК весьма проблематично. Более того, для одного земного астроприбора может потребоваться несколько ИЗАК (в частности, поисковый и точностной). Поэтому ИЗАК в общем случае является специализированным имитатором, который входит в состав стенда для испытаний прибора. В каждом таком стенде над ИЗАК располагается двухступенный подвес, по осям которого установлены привода и датчики угловых поворотов его осей. На указанном подвесе располагается посадочное место для поверяемого прибора. В

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						30
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

конструкцию каждого ИЗАК входит подогреваемое черное тело, которое формой и температурой имитирует Землю (полностью или частично), и охлаждаемый фон, имитирующий космическое пространство.

Оптическая система ИЗАК, как правило, чисто зеркальная. Юстировка и аттестация геометрических размеров изображений, формируемых зеркальными ИЗАК (например, угловой размер имитируемой Земли), осуществляется, как правило, визуальными средствами контроля. Применение в ИЗАК преломляющих оптических деталей (например, из германия) приводит к тому, что для проведения вышеуказанной юстировки и аттестации требуется создание высокоточного углоизмерительного ИК-устройства, которое по своей конструкции не менее сложное, чем испытуемый земной ИК-астроприбор.

Имитатор земли-атмосферы-космоса (ИЗАК) представлен на рисунке 1.11.

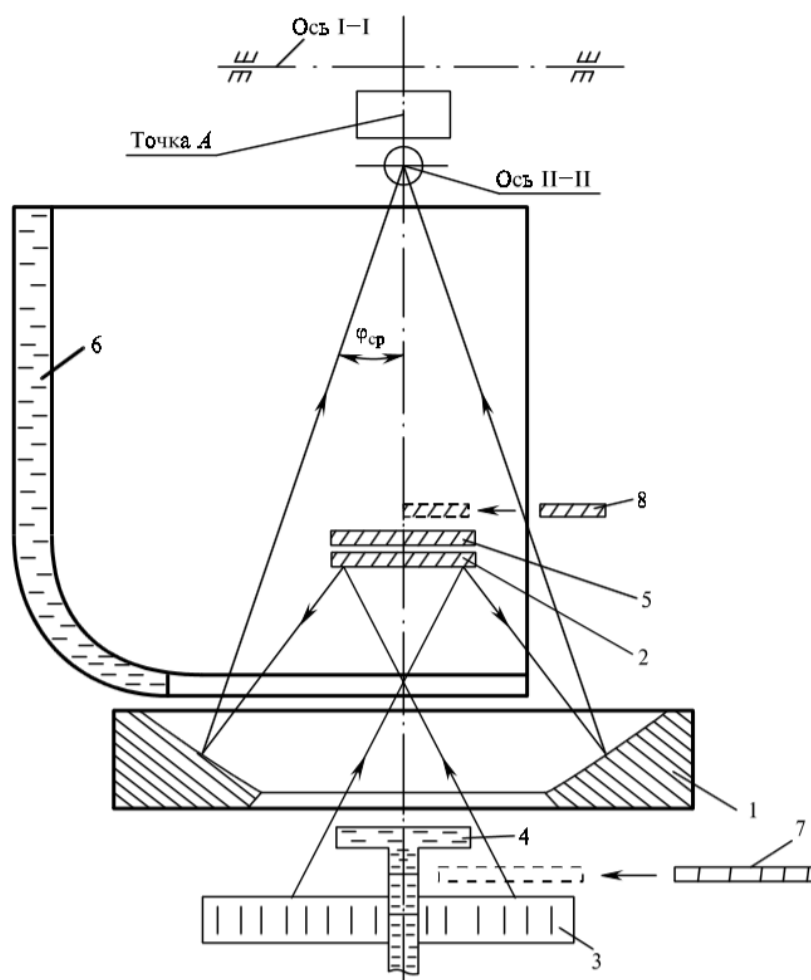


Рисунок 1.11 – Структурная схема иммитатора земля-атмосфера-космос

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						31
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

На рисунке 1.11 цифрами обозначены: 1 — зеркальный параболический тор; 2 — плоское зеркало; 3 — нижнее «черное тело»; 4 — охлаждаемый фон («грибок»); 5 — верхнее «черное тело»; 6 — охлаждаемый фон; 7, 8 — переключаемые излучатели.

Принцип действия имитатора основан на испускании излучения нагретого тела (Земля) и охлажденного тела (космос). Охлаждаемый фон, имитирующий излучение космоса, перекрывает зону обзора прибора. Верхний излучатель («черное тело») 5 имитирует излучение центральной зоны Земли. Охлаждаемый фон («грибок») 4 и нижний излучатель («черное тело») 3 — соответственно излучение космоса и Земли в зоне, близкой к границе контраста. Их взаимное расположение вызвано оборачиванием изображения оптической системы плоским зеркалом 2. Движение мгновенного углового поля проверяемого прибора происходит следующим образом: вначале мгновенное поле перемещается по холодному фону, затем переходит на параболический тор 1 и, отражаясь от плоского зеркала 2, начинает перемещаться по охлажденному «грибку» 4; затем доходит до его края, имитирующего границу контраста, пересекает ее, попадает на нижний излучатель 3 имитатора. Сойдя с параболического тора, мгновенное угловое поле переходит на верхний излучатель 5 и пересекает центр имитатора. Параболический тор 1 образован вращением участка параболической кривой вокруг оси O_1O_1 , наклоненной к оси параболы под углом $\phi_{cp} = 8^\circ 43'$ и проходящей от точки фокуса на расстоянии 70 мм (рисунок 1.12). Точка фокуса параболы описывает при вращении вокруг этой оси окружность, с которой должен совпадать край охлаждаемого «грибка» 4.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						32
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

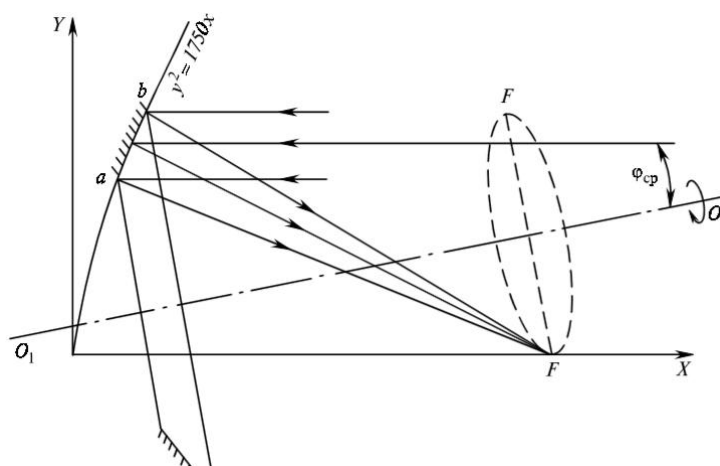


Рисунок 1.12 – Схема построения тора

1.2.3 Структура простейшего иммитатора земли-атмосферы-космоса

Для некоторых задач настройки и проверки земных ИК-астроприборов (особенно для устанавливаемых на высокоорбитальных КА) нашли применение простейшие ИЗАК (рисунок 1.13), содержащие подогреваемое «черное тело» 1 в виде плоского цилиндра и охлаждаемого фона 2.

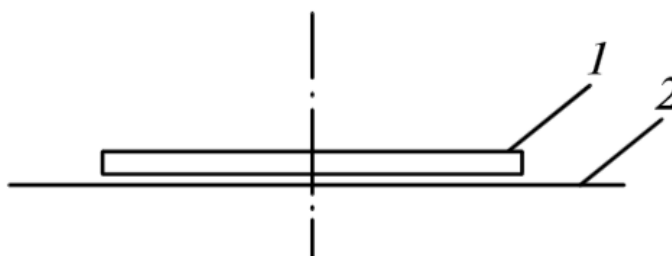


Рисунок 1.13 – Принципиальная схема простейшего ИЗАК

Проверяемый земной астроприбор устанавливается относительно этого ИЗАК на конечном расстоянии в двухступенном подвесе. Очевидным недостатком такого ИЗАК является то, что изображение кромки «черного тела» в фокальной плоскости объектива земного прибора дефокусировано. Размер дефокусированной зоны $\Delta\psi$ в угловой мере (в радианах) определяется по формуле:

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						33
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

$$\Delta\psi \approx D/x, \quad (1.3)$$

где D — диаметр входного зрачка объектива;

x — расстояние от кромки «черного тела» до объектива.

1.2.4 Структура имитатора земли видимого диапазона

Имитатор Земли (астроориентира) предназначен для создания в видимом диапазоне спектра заданной яркости в его угловом поле, в котором имитируются изображения Земли. Основные технические характеристики:

- рабочий спектральный диапазон 0,4–1,1 мкм, имитируемая яркость соответствует спектру источника А;
- выходной световой диаметр объектива 80 мм;
- угловые размеры трех имитируемых источников, обеспечиваемые набором сменных диафрагм излучателя: 1) первого источника на круге диаметром $20^{\circ}10'$ (для угла «Солнце–объект–Земля 180° »); 2) источника «светящийся» серп шириной $9'25''$ на круге диаметром $20^{\circ}10'$ для угла «Солнце–объект– Земля 20° »; 3) источника «светящийся» серп шириной $11'45''$ на круге диаметром $15^{\circ}48'$ (для угла «Солнце–объект–Земля 20° »);
- имитируемая яркость источников может изменяться от $0,4 \cdot 10^4$ до $3,5 \cdot 10^4$ кд/м².

Следует отметить, что представленные значения технических характеристик обусловлены тем, что данный имитатор специализированный и работает с конкретным земным астроприбором видимого диапазона, установленным на КА, который имеет конкретные параметры орбиты. Оптическая система имитатора показана на рисунке 1.14.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						34
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

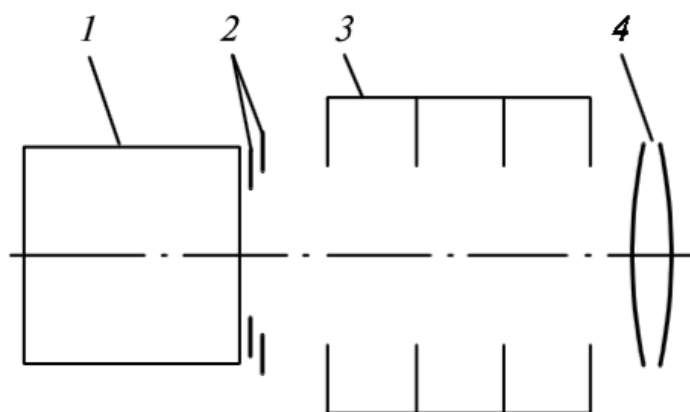


Рисунок 1.14 – Оптическая система имитатора Земли видимого диапазона

На рисунке 1.14 цифрами обозначены: 1 — излучатель; 2 — система сменных диафрагм; 3 — система диафрагм; 4 — линзовый объектив.

Свет от излучателя 1, пройдя систему сменных диафрагм 2, попадает на объектив 4. Так как сменные диафрагмы расположены вблизи фокальной плоскости объектива 4, то выходные пучки лучей параллельны. Для уменьшения рассеянного света между объективом и сменными диафрагмами расположена система диафрагм 3. Излучатель 1 построен по типу фотометрического шара. Для обеспечения заданной яркости имитируемой Земли излучатель снабжен 8 лампами накаливания.

1.2.5 Структура имитатора солнца (астроориентира) видимого диапазона

Имитатор Солнца (астроориентира) предназначен для настройки, проверки и испытания солнечных оптикоэлектронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов, работающих в видимом диапазоне спектра. Этот имитатор используется в точностных стендах для настройки и испытаний указанных приборов.

Основные технические данные:

- выходной световой диаметр объектива 40 мм;
- спектральный диапазон 0,4–1,1 мкм;

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						35
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

– имитируемые угловые размеры Солнца 31'28", 31'59", 32'32" (с учетом сезонного изменения расстояния от Земли до Солнца);

– диапазон изменения освещенностей на расстоянии от 750 до 1500 мм от имитатора для угловых размеров полевых диафрагм:

31'28" 85 000–180 000 лк,

31'59" 89 000–185 000 лк,

32'32" 92 000–192 000 лк;

– нестабильность положения визирной линии относительно базовых плоскостей имитатора в течение 3 ч непрерывной работы не более 4".

Оптическая схема иммитатора представлена на рисунке 1.15.

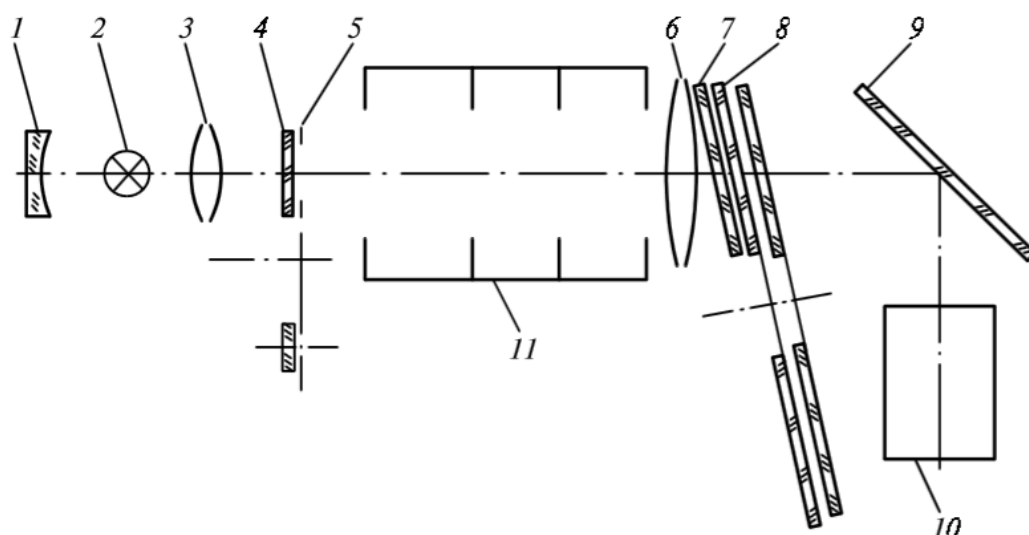


Рисунок 1.15 – Оптическая система иммитатора Солнца (астроориентира) видимого диапазона

На рисунке 1.15 цифрами обозначены: 1 — сферический отражатель; 2 — ксеноновая лампа; 3 — конденсор; 4 — фильтр переменной плотности; 5 — сменные полевые диафрагмы; 6 — линзовый объектив; 7, 8 — сменные нейтральные светофильтры; 9 — плоскопараллельная пластина; 10 — блок измерения неравномерности яркости; 11 — система диафрагм.

Осветитель оптической системы состоит из зеркального сферического отражателя 1, ксеноновой лампы 2 и конденсора 3. В осветителе применено

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						36
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

водяное охлаждение. Конденсор проецирует наиболее яркую и стабильную часть плазмы ксеноновой лампы с увеличением $50\times$ во входной зрачок объектива 6. Для увеличения габаритной яркости и повышения равномерности распределения яркости в используемой части плазмы применяется рефлектор-отражатель сферический 1, в центре кривизны которого расположена наиболее яркая и стабильная часть плазмы. Для получения естественного распределения яркости по диску имитируемого источника перед каждой полевой диафрагмой может быть установлен фильтр переменной плотности 4. Угловые размеры Солнца имитируются введением в оптическую систему сменных полевых диафрагм 5, расположенных в фокальной плоскости объектива 6 [2].

Регулирование освещенности осуществляется введением в световой пучок нейтральных светофильтров: одного постоянного 7 и одиннадцати сменных 8, а также изменением тока на лампе в пределах 120–155 А. Для уменьшения рассеянного света между полевой диафрагмой и объективом расположена система диафрагм 11. Для исключения попадания бликов от нейтральных светофильтров 7 и 8 в испытываемые солнечные приборы эти нейтральные светофильтры установлены к оптической оси объектива с наклоном в 92° и 94° . Плоскопараллельная пластина 9 делит световой пучок на две части: одна направляется на блок измерения неравномерности яркости 10, другая — используется как рабочая.

1.3 Выводы по разделу 1

Проделанный обзор показывает, что существующие испытательные стенды и иммитаторы илучения астроориентиров представляют собой сложные прецизионные оптико-электронные устройства, ориентированные на иммитацию одного или нескольких астроориентиров с жестко установленными спектрэнергетическими, геометрическими и кинематическими параметрами, и обладающие высокой стоимостью.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						37
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматриваются варианты построения стенда для испытания астроприборов с легко перестраиваемой структурой на основе LCD-модуля. Отличительной особенностью такого стенда является возможность имитации одновременно нескольких излучателей, например, звёздных образов, созвездий, разных размеров, спектров излучений, перемещающихся с разными скоростями, что создаёт возможность испытания астроприборов не только в статическом, но и динамическом режимах.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						38
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО СТЕНДА

Задачи раздела:

- Разработать функциональную схему стенда;
- Произвести обзор основных составляющих схемы, выбрать подходящие элементы.

2.1 Разработка функциональной схемы устройства

Функциональная схема – документ, разъясняющий процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или изделия (установки) в целом. Функциональная схема — это вид графической модели изделия. Использование и построение функциональных схем позволяет наглядно отразить устройство функциональных изменений, описание которых оперирует любыми микросхемами [11].

Для построения функциональной схемы будем использовать правила выполнения функциональных схем, указанные в ГОСТ 2.702 – 2011. Правила выполнения электрических схем:

- На функциональной схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, иллюстрируемом схемой, и связи между этими частями;
- Функциональные части и взаимосвязи между ними на схеме изображают в виде УГО, установленных в стандартах ЕСКД. Отдельные функциональные части допускается изображать в виде прямоугольников;
- Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой;
- Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом;
- При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу;

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						39
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

- При разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно [12].

На рисунке 2.1 представлена разработанная в ходе данной выпускной квалификационной работы функциональная схема стенда для испытания астроприборов ориентации и навигации космических аппаратов.

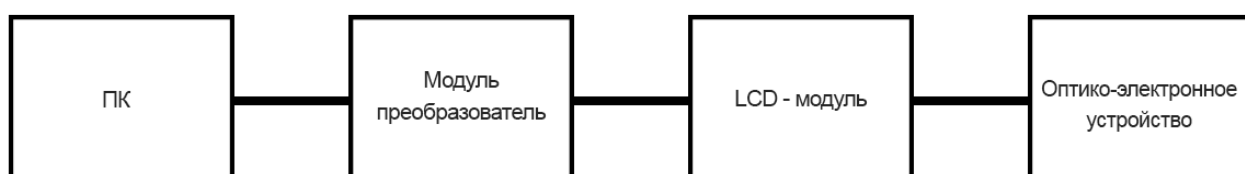


Рисунок 2.1 – Функциональная схема проектируемого стенда

На функциональной схеме в качестве элементов проектируемого стенда представлены: персональный компьютер, модуль преобразователь, LCD – модуль, тестируемое оптико-электронное устройство ориентации и навигации космических аппаратов.

2.2 Обзор основных составляющих функциональной схемы.

Описание основных элементов функциональной схемы необходимо для того, чтобы понять принцип работы проектируемого стенда и подобрать необходимые элементы.

2.2.1 Персональный компьютер

Персональный компьютер (ПК) — электронная вычислительная машина, предназначенная для личного использования, цена, размеры и возможности которого удовлетворяют потребности многих людей.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						40
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Еще в 1968 году исследователь Дуглас Энгельбарт показал то, что стало привычным в начале 21 века — электронную почту, гипертекст, текстовый процессор, видеоконференцию и манипулятор «мышь». Вместе с тем в то время использование компьютера (ЭВМ) было слишком дорогими для индивидуального пользования (в бизнесе или образовании).

В 1970 году компанией Hewlett-Packard были представлены разработки вычислительной системы (компьютера), которая полностью размещалась на верхней части стола и имела клавиатуру, маленький дисплей (монитор) и принтер. Первым персональным компьютером считается Xerox Alto, разработанный в 1973 году научно-исследовательским центром компании Xerox (PARC) в Пало-Альто (Калифорния, США). Он уже имел графический интерфейс (GUI), который позже служил примером для Apple Computer в создании операционной системы для Macintosh и Microsoft для разработки интерфейса Windows. Компьютер Wang +2200 1973 года имел полноразмерный дисплей на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) и кассеты как средства хранения информации. Внедрение микропроцессоров привело к массовому распространению персональных компьютеров после 1975 года.

Ранние персональные компьютеры (микрокомпьютеры) были интересными главным образом для специалистов и любителей радиоэлектронных устройств. Программирование таких устройств осуществлялось посредством изменения положений переключателей на передней панели, результаты вычислений отображались включением соответствующих лампочек-индикаторов. Практическое применение микрокомпьютера требовало добавления периферийных устройств, таких как: клавиатуры, компьютерные дисплеи, дисковые накопители и принтеры. Micral N был одним из первых коммерческих микрокомпьютеров на основе процессора Intel 8008. Его выпускали, начиная с 1972 года, причем было продано около 90000 устройств.

В 1976 году Стив Джобс и Стив Возняк создали персональный компьютер Apple I с платой, которая содержала около 30 микросхем. В январе 1977 года был

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						41
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

представлен персональный компьютер Commodore PET, в июне 1977 года — Apple II и TRS-80 от Radio Shack в ноябре 1977 года. Массовый выпуск микрокомпьютеров сформировал рынок персональных компьютеров, что позволило широкому кругу людей использовать компьютеры, ориентируясь на используемые программные средства, практически не обращая внимания на технические особенности их работы.

С начала 1980-х годов компьютеры широко используются для персонального (в том числе и домашнего) использования, разрабатывается программное обеспечение широкого спектра, в том числе и игры. Персональный компьютер Commodore 64 был продан в количестве 17 млн шт. Еще один такой компьютер — NEC PC-98, был продан в количестве 18 000 000 единиц. Несколько дорогих систем (хотя дешевых по сравнению с мини-ЭВМ или мейнфреймами) начали использоваться в офисах и малом бизнесе. Персональные рабочие станции характеризовались высокой производительностью процессоров и графических дисплеев, большим объемом памяти жесткого диска, сетевыми возможностями и работой под управлением многозадачной операционной системы.

В конце концов, в связи с влиянием персонального компьютера IBM на рабочие станции и домашние компьютеры потеряли технические различия. Компьютеры для бизнеса начали использовать цвет и другие графические возможности, звук, а домашние компьютеры и игровые системы использовали те же процессоры и операционные системы, что и компьютеры офисных работников.

В 1982 году «Компьютер» был назван машиной года по версии журнала Time Magazine.

В Советском Союзе вычислительные машины, предназначенные для личного использования, носили официальное название персональных электронных вычислительных машин (ПЭВМ) [13].

Современный персональный компьютер может использоваться несколькими людьми одновременно. Персональный компьютер может использовать вся семья, не только в порядке очереди, но и одновременно: просмотр фильма и совместное

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						42
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

прослушивание музыки, одновременная игра. Хотя с развитием компьютеров их возможности и расширяются, такой компьютер всё равно будет считаться персональным, вне зависимости от того, какими бы вычислительными возможностями он бы не обладал, при условии использования его в персональных целях.

Для разработки стенда для испытания астроприборов ориентации и навигации космических аппаратов нам потребуется современный персональный компьютер с операционной системой не меньше Windows 7.

В данной схеме персональный компьютер выступает в качестве органа управления LCD – модулем. С помощью специального программного обеспечения на LCD – модуль будут отправляться команды для создания необходимых изображений.

2.2.2 Модуль преобразователь

Поскольку подключиться и управлять напрямую от компьютера к LCD – модулю не получится, то для управления LCD – модулем необходимо использовать микроконтроллер с необходимым объемом оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и поддерживающего такой же интерфейс как у LCD – модуля.

Микроконтроллер – это микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ и (или) ПЗУ. Микроконтроллер, это однокристалльный компьютер, способный выполнять относительно простые задачи. Отличается от микропроцессора интегрированными в микросхему устройствами ввода-вывода, таймерами и другими периферийными устройствами [14].

С появлением однокристалльных микро-ЭВМ связывают начало эры массового применения компьютерной автоматизации в области управления. По-видимому,

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						43
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

это обстоятельство и определило термин «контроллер» (англ. controller — регулятор, управляющее устройство).

В связи со спадом отечественного производства и возросшим импортом техники, в том числе вычислительной, термин «микроконтроллер» вытеснил из употребления ранее использовавшийся термин «однокристалльная микроЭВМ».

Первый патент на однокристалльную микроЭВМ был выдан в 1971 году инженерам М. Кочрену и Г. Буну, сотрудникам американской Texas Instruments. Именно они предложили на одном кристалле разместить не только процессор, но и память с устройствами ввода-вывода.

В 1976 году американская фирма Intel выпускает микроконтроллер i8048. В 1978 году фирма Motorola выпустила свой первый микроконтроллер MC6801, совместимый по системе команд с выпущенным ранее микропроцессором MC6800. Через 4 года, в 1980 году, Intel выпускает следующий микроконтроллер: i8051. Удачный набор периферийных устройств, возможность гибкого выбора внешней или внутренней программной памяти и приемлемая цена обеспечили этому микроконтроллеру успех на рынке [15].

На сегодняшний день существует более 200 модификаций микроконтроллеров, совместимых с i8051, выпускаемых двумя десятками компаний, и большое количество микроконтроллеров других типов.

Популярностью у разработчиков пользуются 8-битные микроконтроллеры PIC фирмы Microchip Technology и AVR фирмы Atmel, 16-битные MSP430 фирмы TI, а также 32-битные микроконтроллеры архитектуры ARM, которую разрабатывает фирма ARM Limited и продаёт лицензии другим фирмам для их производства. Несмотря на популярность в России микроконтроллеров, упомянутых выше, по данным Gartner Grup от 2009 года мировой рейтинг по объёму продаж выглядит иначе: первое место с большим отрывом занимает Renesas Electronics на втором Freescale, на третьем Samsung, затем идут Microchip и TI, далее все остальные [15].

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						44
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Для управления LCD-модулем необходимо подобрать микроконтроллер, ОЗУ которого не меньше чем $800 \cdot 600 / 8$ байт (60кБайт). Рассмотрим некоторые из существующих микроконтроллеров и выберем наиболее подходящий.

Микроконтроллер HD44780U

Микроконтроллер жидкокристаллического дисплея HD44780U отображает буквенно-цифровые символы. Он может быть сконфигурирован для управления точечно-матричным жидкокристаллическим дисплеем под управлением 4- или 8-битного микропроцессора. Поскольку все функции, такие как отображение ОЗУ, символ генератор и жидкокристаллический драйвер, необходимые для управления жидкокристаллическим дисплеем с точечной матрицей, являются внутренне, то на одной микросхеме минимальная система может быть сопряжена с этим микроконтроллером. Один микроконтроллер HD44780U может отображать до одной 8-значной строки или двух 8-символьных строк. Низкое энергопотребление (от 2,7 до 5,5 В) HD44780U подходит для любого портативного устройства с батарейным питанием требующих малой рассеиваемой мощности [16].

Микроконтроллер HD44780U представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Микроконтроллер HD44780U

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						45
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Характеристики микроконтроллера HD44780U:

- возможные размеры матрицы 5*8 и 5*10;
- поддержка работы с низким энергопотреблением: от 2.7 до 5.5В;
- широкий диапазон мощности для жидкокристаллического дисплея;
- высокоскоростной интерфейс шины микроконтроллера (2МГц при $V_{cc}=5В$);
- 4-рех битный или 8-ми битный интерфейс микроконтроллера;
- 80*8 разрядная оперативная память (640 байт. Не более 80 символов);
- функция совместимости контактов с HD44780S;
- автоматическая схема сброса, которая инициализирует контроллер после включения питания;
- внутренний генератор с внешними резисторами;
- низкое энергопотребление.

Микроконтроллер HD44780U имеет два 8-битных регистра, регистр команд IR и регистр данных DR. Регистр IR хранит коды команд, такие как очистка дисплея и сдвиг курсора, и адресную информацию для отображения ОЗУ данных (DDRAM) и ОЗУ генератора символов (CGRAM). Регистр команд IR можно записать только из микроконтроллера. Регистр данных DR временно хранит данные, которые должны быть записаны в DDRAM или CGRAM, и временно сохраняет данные при чтении из DDRAM или CGRAM. Данные, записанные в регистр данных DR из микроконтроллера автоматически записываются в DDRAM или CGRAM с помощью внутренней функции. Регистр данных DR также используется для хранения данных при чтении от DDRAM или CGRAM. Когда адресная информация записывается в регистр команд IR, данные считываются, а затем сохраняются в регистр данных DR от DDRAM или CGRAM с помощью внутренней операции. Передача данных завершается тогда, когда микроконтроллер считывает информацию из регистра данных DR. После чтения предыдущих данных, последующие данные в DDRAM или в CGRAM на следующем адресе отправляются в регистр данных DR для следующего чтения из микроконтроллера [16].

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						46
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Данный микроконтроллер широко распространен и используется для управления символьными экранами небольших размеров. Для нашего LCD-модуля микроконтроллер HD44780U не подходит, так как имеет недостаточно большой объем ОЗУ.

Микроконтроллер ATtiny44

Микроконтроллер ATtiny44 производится компанией Atmel. Atmel Corporation — изготовитель полупроводниковых электронных компонентов. Компания основана в 1984 году. Один из лидеров производства микроконтроллеров [17].

Микроконтроллер ATtiny44 представлен на рисунке 2.3.

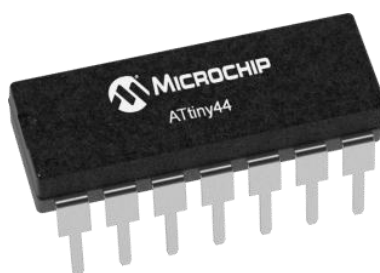


Рисунок 2.3 – Микроконтроллер ATtiny44

ATtiny44 представляет собой маломощный 8-разрядный микроконтроллер на основе усовершенствованной RISC AVR архитектуры.

ATtiny44 обладает следующими характеристиками: 256 байт EEPROM, 4 кБайт ОЗУ, 12 линий ввода-вывода общего назначения, 32 рабочих регистра общего назначения, 8-разрядный таймер с двумя каналами широко импульсной модуляции (ШИМ), 16-разрядный таймер с двумя каналами ШИМ, с внутренними и внешними прерываниями, 8-канальный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), программируемый Watchdog Timer с внутренним генератором, встроенным калиброванным осциллятором с энергосберегающим режимом. В режимах пониженного энергопотребления регистры сохраняют свое содержимое и все функции микроконтроллера разблокируются до следующего

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						47
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

прерывания или аппаратного сброса. В режиме ожидания генератор работает, пока остальная часть устройства находится в режиме сна, что позволяет очень быстро запускать комбинированный режим с низким энергопотреблением.

Микроконтроллер изготовлен с использованием технологии энергонезависимой памяти Atmel с высокой плотностью. Начинка ISP Flash позволяет запрограммировать программную память в системе через SPI последовательный интерфейс, обычным энергонезависимым программным обеспечением памяти или встроенным загрузочным кодом, работающим на ядре AVR [18].

Продукция Atmel широко применяется в компьютерных сетях, промышленности, медицине, связи. Для управления проектируемым LCD – модулем микроконтроллер ATtiny44 не подходит, так как имеет недостаточно большой объем ОЗУ.

Микроконтроллер ATmega168

Микроконтроллер ATmega168 также производится компанией Atmel. Микроконтроллер ATmega168 имеет 32 рабочих регистра общего назначения. Все 32 регистра напрямую подключены к Арифметическому логическому блоку (ALU), позволяя двум независимым регистрам получать доступ к одной команде, выполняемой за один такт.

Микроконтроллер ATmega168 представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Микроконтроллер ATmega168

ATmega168 обладает следующими характеристиками: 512 байт EEPROM, 1 кБайт ОЗУ, 23 линии ввода-вывода общего назначения, 32 рабочих регистра

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						48
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

общего назначения, счетчик реального времени (RTC), три гибких таймера с режимами сравнения и ШИМ, 1 последовательный программируемый USART, 1 байтовый 2-проводной последовательный интерфейс (I2C), 6-канальный 10-разрядный АЦП, программируемый сторожевой таймер с внутренним осциллятором, последовательный порт SPI и шесть программно выбираемых режима энергосбережения. Режим выключения сохраняет содержимое регистра, но замораживает осциллятор, отключая все другие функции микроконтроллера до следующего прерывания или аппаратного сброса. В режиме энергосбережения асинхронный таймер продолжает работать, позволяя пользователю поддерживать базу таймера в то время как остальная часть устройства находится в режиме сна. Режим ADC Noise Reduction останавливает CPU и все входы / выходы модулем, за исключением асинхронного таймера и АЦП, чтобы минимизировать шум коммутации при конверсиях АЦП. В резервном режиме генератор работает, пока остальная часть устройства находится в режиме сна. Эта позволяет очень быстро запускать микроконтроллер в сочетании с низким потреблением энергии. В режиме расширенного ожидания оба основных генератора и асинхронный таймер продолжают работать [19].

Данный микроконтроллер также не подходит для проектируемого LCD-модуля, так как имеет недостаточно большой объем ОЗУ.

Микроконтроллер STM32F411RE

Микроконтроллер STM32F411RE производится фирмой STMicroelectronics на базе ядра Cortex – M4. Ядро Cortex построено по гарвардской архитектуре с разделением шины данных и кода. Ядро Cortex-M4 поддерживает 8/16/32-разрядные операции умножения, которые выполняются за 1 цикл (деление со знаком (SDIV) или без (UDIV) занимает от 2 до 12 тактов в зависимости от размера операндов. Ядро Cortex-M4 поддерживает 8/16/32-разрядные операции умножения со сложением.

Микроконтроллер STM32F411RE представлен на рисунке 2.5.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						49
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		



Рисунок 2.5 – Микроконтроллер STM32F411RE

Микроконтроллер STM32F411RE основан на высокопроизводительном 32-битном RISC-контроллере Arm® Cortex® -M4, работающем на частоте до 100 МГц. Ядро Cortex®-M4 оснащено одноточечной единицей с плавающей точкой (FPU), которая поддерживает все инструкции и типы данных для передачи данных с одной точностью. Он также реализует полный набор инструкций DSP и блок защиты памяти (MPU), который повышает безопасность приложений. STM32F411RE относится к линейке продуктов STM32 Dynamic Efficiency™ (с продуктами, сочетающими энергоэффективность, производительность и интеграцию), одновременно добавляя новую инновационную функцию, называемую Batch Acquisition Mode (Batch), позволяющую экономить даже больше энергопотребления во время пакетной обработки данных. STM32F411RE включает высокоскоростные встроенные запоминающие устройства (до 512 Кбайт флэш-памяти, 128 Кбайт ОЗУ) и широкий спектр усовершенствованных входов / выходов и периферийных устройств, подключенных к двум шинам внешнего тактирования, двум шинам внутреннего. Все устройства предлагают один 12-разрядный АЦП, маломощный RTC, шесть универсальных 16-разрядных таймеров, включая один таймер ШИМ, два 32-битных таймера общего назначения. Они также оснащены стандартными и усовершенствованными коммуникационными интерфейсами: До трех I2C, Пять SPI, Пять I2S, из которых два являются полнодуплексными. Для достижения точности звукового класса периферийные устройства I2S можно синхронизировать через выделенный внутренний аудиоплеер PLL или через внешние часы, чтобы обеспечить

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						50
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

синхронизацию. Три интерфейса USART, интерфейс SDIO, интерфейс полной скорости USB 2.0 OTG.

STM32F411RE работает в диапазоне температур от -40 до + 125 ° С. Напряжение источника питания от 1,7 до 3,6 В. Полный набор энергосберегающих режимов позволяет создавать приложения с малой мощностью. Эти функции делают микроконтроллер STM32F411RE подходящими для широкого спектра применений [20].

Данный микроконтроллер подходит для проектируемого LCD-модуля поскольку обладает достаточным объемом ОЗУ и широким спектром встроенных интерфейсов.

Результаты обзора микроконтроллеров представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результат обзора микроконтроллеров для проектируемого LCD-модуля.

Микроконтроллер	Объем ОЗУ
HD44780U	640 байт
ATtiny44	1 кБайт
ATmega168	4 кБайт
STM32F411RE	128 кБайт

2.2.3 LCD – модуль

Жидкокристаллический дисплей (ЖК-дисплей; англ. liquid crystal display, LCD) — дисплей на основе жидких кристаллов, а также устройство (монитор, телевизор) на основе такого дисплея.

Простые приборы с ЖКИ (электронные часы, термометры, плееры, телефоны и пр.) могут иметь монохромный или 2—5-цветный дисплей. С появлением быстрой светодиодной подсветки появились дешёвые сегментные и матричные многоцветные ЖКИ с чередующимися цветами. ЖКИ с чередующимися цветами используют неспособность человеческого зрения воспринимать быстрое

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						51
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

изменение интенсивности света. В настоящий момент многоцветное изображение обычно формируется с помощью RGB-триад, используя ограниченное угловое разрешение человеческого глаза.

Дисплей на жидких кристаллах используется для отображения графической или текстовой информации в компьютерных мониторах (также и в ноутбуках), телевизорах, телефонах, цифровых фотоаппаратах, электронных книгах, навигаторах, планшетах, электронных переводчиках, калькуляторах, часах и т. п., а также во многих других электронных устройствах [21].

LCD – модуль выступает в качестве задатчика изображений в схеме стенда для тестирования оптико-электронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов.

Рассмотрим принцип построения LCD-дисплея и способы управления им.

Топология абсолютно любого жидкокристаллического (LCD) экрана представляет собой матрицу, образованную системой строковых и столбцовых электродов. При этом каждый элемент изображения находится на пересечении строки и столбца. Данная схема представлена на рисунке 2.6.

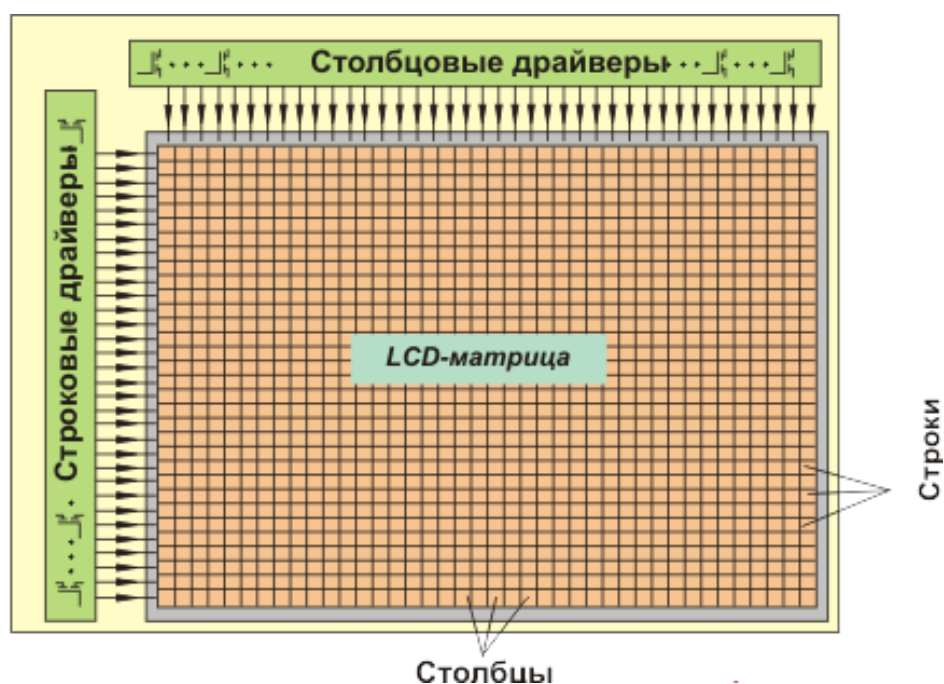


Рисунок 2.6 – Структура LCD - экрана

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						52
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Для включения соответствующего пиксела (точки) должен быть выбран столбец и должна быть указана строка, в которой находится этот пиксел. В результате, к LCD-ячейке прикладывается напряжение, величина которого определяет яркость точки. Выборка строк и столбцов осуществляется переключением ключевых транзисторов, которые образуют так называемые, драйверы столбцов (Column Driver-CD или Source Driver-SD) и драйверы строк (Row Driver-RD или Gate Driver-GD). Количество транзисторов, содержащихся в столбцовых драйверах должно точно соответствовать количеству столбцов, а количество ключевых транзисторов строковых драйверов должно равняться количеству строк на экране. Непосредственную коммутацию LCD-ячейки осуществляет TFT (тонкопленочный транзистор). Количество TFT-транзисторов равно количеству LCD-ячеек. Напряжение, прикладываемое к LCD-ячейке, формируется столбцовым драйвером, а драйверы строк формируют сигнал открывания/запираания TFT-транзистора. Данная схема показана на рисунке 2.7.

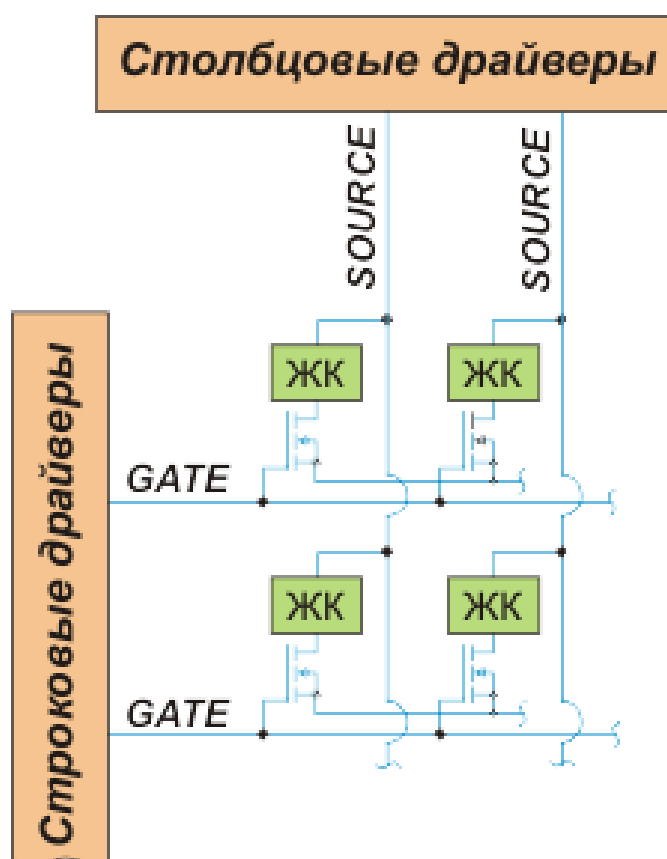


Рисунок 2.7 – Эквивалентная схема управления LCD-ячейками(пикселами)

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						53
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Так, например, в цветной панели 1024x768 точек, имеется 1024 столбца и 768 строк, при этом, так как панель цветная, то и каждый элемент изображения состоит еще из трех элементов – красного, зеленого и синего. Поэтому такая панель содержит 3072 столбца (1024x3) и 768 строк. Таким образом, для управления этой панелью требуется $3072+768=3840$ транзисторов. Эти транзисторы размещаются в интегральных микросхемах, образующих вместе с LCD-панелью единую неразборную конструкцию.

Информация о градации цвета, т.е. о яркости цветной точки передается в формате R/G/B. Эти данные должны поступать на столбцовые драйверы в цифровом виде. И уже столбцовыми драйверами эти цифровые данные преобразуются в аналоговое напряжение, прикладываемое к LCD-ячейкам. Строковые драйверы никаких преобразований не выполняют, и поэтому обеспечивают лишь «перебор» строк, указывая ту строку, LCD-ячейки которой засвечиваются в данный момент времени. Таким образом, строковые драйверы должны получать только лишь управляющие сигналы, позволяющие осуществлять перебор строк. В то же самое время, столбцовые драйверы управляются сигналами, позволяющими осуществлять перебор точек строки, и одновременно с этим получают еще и сигналы цвета R/G/B. Данная схема показана на рисунке 2.8.

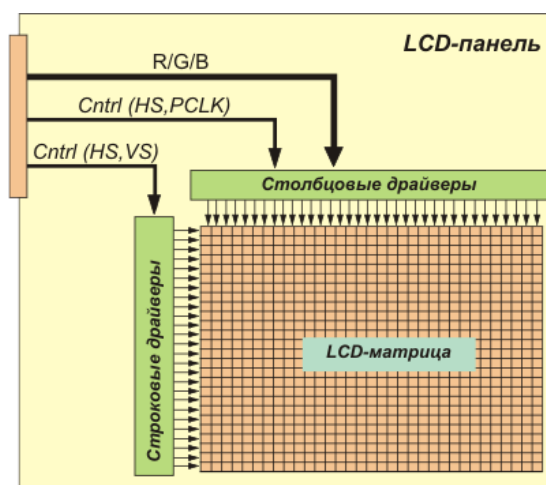


Рисунок 2.8 – Сигналы, необходимые для управления столбцовыми и строковыми драйверами

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						54
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Сигналы цвета в формате R/G/B, как известно, приходят на вход монитора от персонального компьютера. Эти сигналы обрабатываются графическим контроллером монитора, получившим название скалер (Scaler). Скалер осуществляет преобразование изображения, масштабируя его из любого входного формата в формат, соответствующий разрешению матрицы. Таким образом, данные, передаваемые на LCD-панель, формируются на основной (микропроцессорной) плате монитора, а именно, на выходе микросхемы скалера и передаются на панель с использованием соответствующего интерфейса. Данная схема представлена на рисунке 2.9.

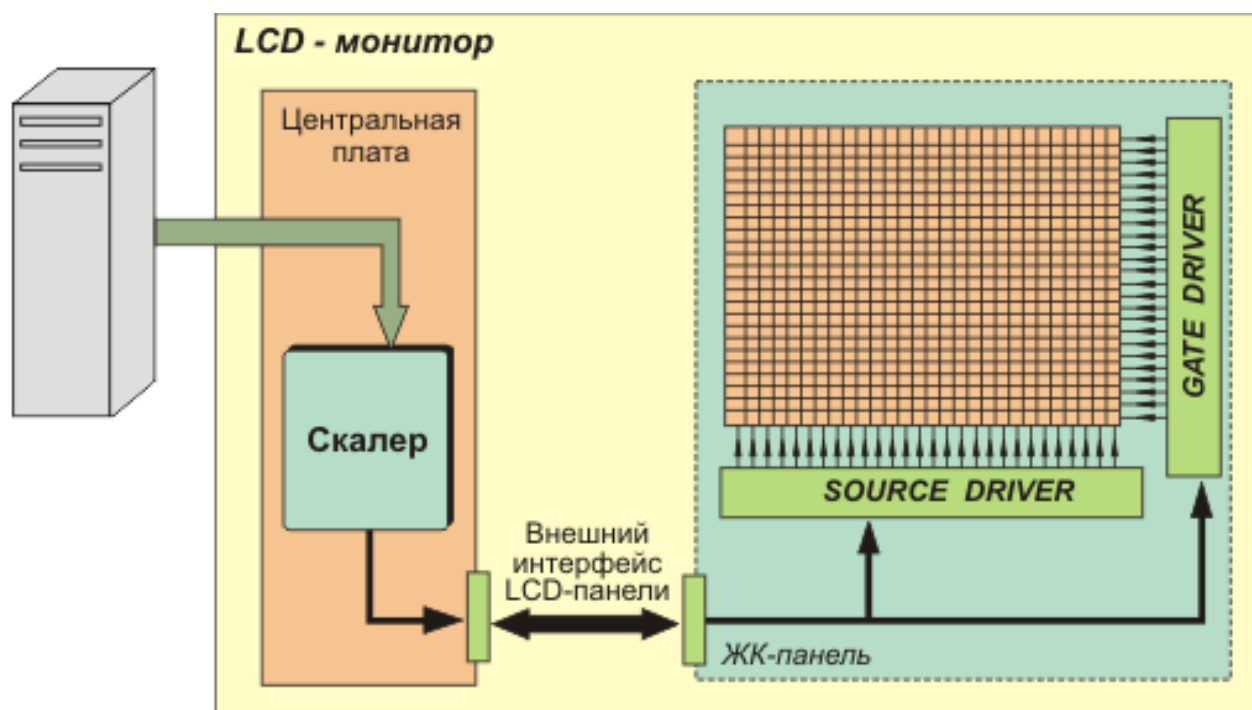


Рисунок 2.9 – Общая архитектура LCD монитора

В данной выпускной квалификационной работе в качестве LCD – модуля будет использоваться цветовой индикатор AG800600В фирмы Ampire.

Компания «AMPIRE» (Тайвань) организована в 1998 году и на данный момент является одним из мировых лидеров по производству жидкокристаллических индикаторов, в том числе и для промышленных применений. Спектр индикаторов, выпускаемых «AMPIRE» очень широк, это и

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						55
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

символьные ЖК-модули, и графические ЖК-модули (в том числе цветные), а также линейка TFT LCD модулей с различными размерами диагонали. Основная особенность компании - проектно-ориентированное производство, соответствующее стандарту качества ISO [22].

Цветовой индикатор AG800600BYSCW обладает следующими характеристиками:

- Формат дисплея 800x600 точек, коэффициент заполнения 1/300;
- Простой матричный цветной LCD – модуль;
- Диагональ экрана 10.4;
- FL – подсветка;
- Питание +5V для логических элементов;
- Питание +35V для LCD драйверов;
- Нормальный тип температуры.

Параметры цветового индикатора AG800600B представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры цветового индикатора AG800600B

Параметр	Значение	Единицы измерения
Разрешение дисплея	800*600	-
Размер пиксела	0.244*0.239	мм
Габаритные размеры дисплея	264.0*183.0*8.0	мм
Область просмотра	213.2*160.4	мм
Активная область	211.18*158.375	мм
Вес	450	гр

Абсолютные максимальные значения цветового индикатора AG800600BYSCW представлены в таблице 3.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						56
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Таблица 3 – Абсолютные максимальные значения цветового индикатора
AG800600BYSCW

Параметр	Символ	Состояние	Мин	Рекомендуемое	Макс	Единицы
Напряжение питания логической схемы	VDD	-	4.75	5.0	5.25	V
	VEE	-	29.5	31.5	33.5	V
Управляемое напряжение подсветки	VFL	25°C	470	520	570	V
Входной ток подсветки	IFL	-	3.0	4.5	6.0	mA
Пусковое напряжение подсветки	VFLS	25°C	1200	-	-	V
Входное напряжение	VIH	VDD=5V	0.8 VDD	-	-	V
	VIL		-	-	0.2 VPP	
Потребляемый ток 1	IDD	Все вкл	-	17.5	-	mA
	IEE		-	2.7	-	
Потребляемый ток 2	IDD	проверка	-	40.2	-	mA
	IEE		-	26.2	-	

Диаграмма управляющих сигналов LCD – модуля представлена на рисунке 2.10.

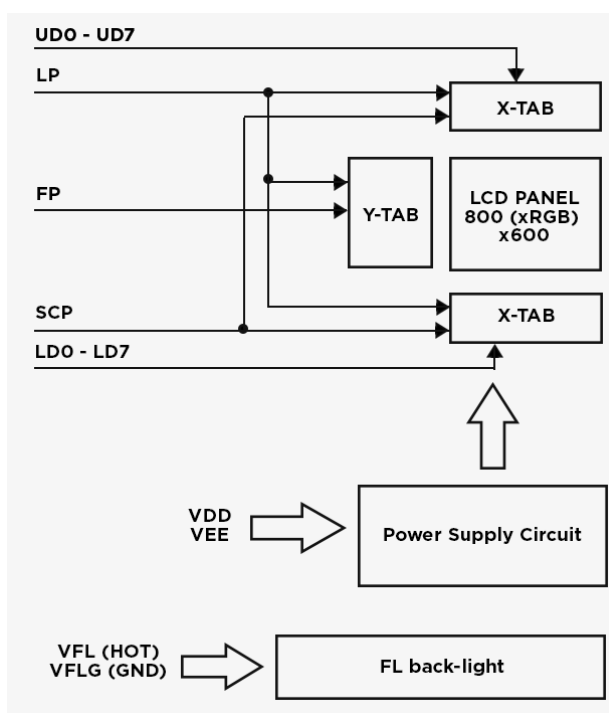


Рисунок 2.10 – Диаграмма управляющих сигналов

На основе диаграммы управляющих сигналов LCD модуля была построена схема подключения данного модуля к выбранному ранее микроконтроллеру STM32F411RE.

Схема подключения цветного индикатора AG800600BYSCW к ранее выбранному микроконтроллеру STM32F411RE показана на рисунке 2.11. Схема подключения составлена в соответствии с технической документацией на используемый микроконтроллер.

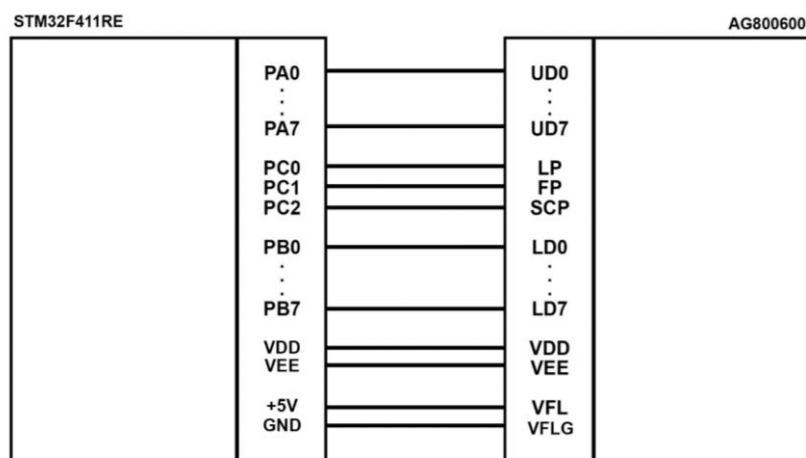


Рисунок 2.11 – Схема подключения цветного индикатора AG800600BYSCW микроконтроллеру STM32F411RE

На рисунке 2.11 буквами обозначены названия контактов:

UD0 – UD7 – ввод данных для верхнего экрана;

LP – Импульс затвора первой строки;

FP – Кадровый импульс;

SCP – Сдвиговой тактовый импульс для X-драйвера;

LD0 – LD7 – ввод данных для нижнего экрана;

VDD – питание для логических элементов;

VEE – питание для управления контрастностью;

VFL – питание для подсветки;

VFLG – земля для подсветки.

Диаграмма временных характеристик управляющих сигналов LCD модуля представлена на рисунке 2.12.

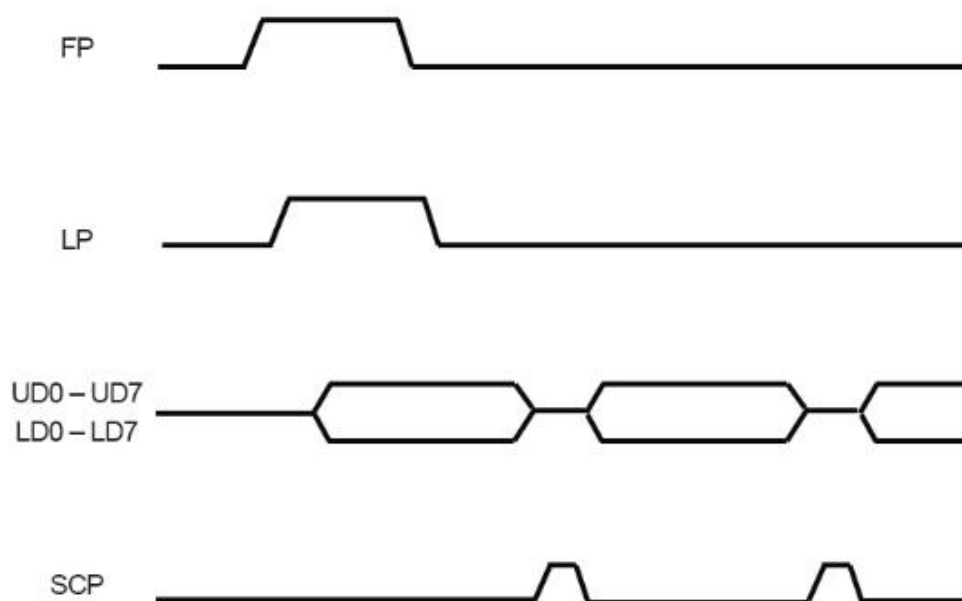


Рисунок 2.12 – Диаграмма временных характеристик управляющих сигналов

Управление LCD с помощью микроконтроллера STM32F411RE:

Сигнал FP отвечает за смену кадров, когда этот сигнал поступает на вход LCD модуля, начинается формирование нового кадра. По приходу на вход LCD модуля сигнала LP определяется начало первой строки нового кадра. На выходы UD0-UD7 и LD0-LD7 подаётся информация для верхнего (Upper) экрана и нижнего (Lower) экрана соответственно. Информация на верхний (верхняя часть экрана) и нижний (нижняя часть экрана) экраны подаётся одновременно. Верхняя часть экрана состоит из первых 300 строк, нижняя часть экрана состоит из последних 300 строк. Когда на вход LCD поступает сигнал SCP происходит смещение курсора на следующую строку. После окончания формирования изображения, если необходимо начать формировать новое изображение, то нужно подать команду FP и начнется формирование нового изображения.

2.3 Разработка оптической схемы проектируемого стенда.

Оптическая схема – совокупность оптических элементов, созданная для преобразования оптических пучков.

Разработанная в ходе выпускной квалификационной работы оптическая схема представлена на рисунке 2.13.

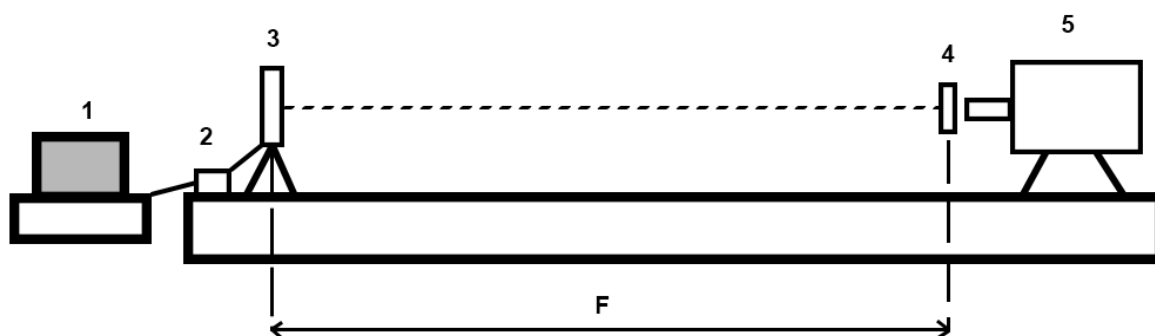


Рисунок 2.13 – Оптическая схема проектируемого стенда для тестирования оптико-электронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов.

На рисунке 2.13 цифрами обозначены: 1 – персональный компьютер, 2 – модуль преобразователь, 3 – LCD-модуль, 3 – коллимирующая линза, 4 – тестируемое устройство ориентации и навигации космических аппаратов. F – фокусное расстояние на котором установлена коллимирующая линза (1.4м).

Рассчитаем угловую точность точечного изображения:

Погрешность точечного изображения для данного LCD – модуля равна 0.02 мм, тестируемый прибор находится на расстоянии 1400 мм, вычислим противолежащий угол через арктангенс по формуле 2.1.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{A}{B}\right), \quad (2.1)$$

где α – искомый угол,

A – противолежащий катет (погрешность точечного изображения),

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						60
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

В – прилежащий катет (расстояние на котором установлен тестируемый прибор).

Получим угол α равный 0.0008185 градусов или 2,9466 угловых секунд.

Если в данной оптической схеме использовать в качестве имитатора изображений астроориентиров монитор, с электронно-лучевой трубкой, SONY ICX039DLA, то при указанной в документации погрешности точечного изображения 0.26 мм, получим угол α равный 0.01065 градусов или 59,382 угловых секунд.

2.4 Выводы по разделу 2

В данном разделе была разработана функциональная схема стенда для тестирования оптико-электронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов в котором в качестве задатчика изображений выступает LCD модуль. Функциональная схема была разработана в соответствии с правилами выполнения функциональных схем указанными в ГОСТ 2.702 – 2011. Также были описаны основные составляющие разработанной функциональной схемы. Произведен обзор микроконтроллеров, в результате которого был выбран необходимый микроконтроллер для управления LCD – модулем, и построена схема подключения выбранного микроконтроллера к LCD – модулю. Также была составлена инструкция для управления LCD – модулем.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						61
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО СТЕНДА

Задачи раздела:

- Разработать блок-схему управления LCD – модулем, по которой представить описание работы программы;
- Разработать код программы в среде разработки IAR Embedded Workbench.

3.1 Разработка блок-схемы и описание работы программы

Программное обеспечение (ПО) — все или часть программ, процедур, правил и соответствующей документации системы обработки информации.

Другие определения из международных и российских стандартов:

- Компьютерные программы, процедуры и, возможно, соответствующая документация и данные, относящиеся к функционированию компьютерной системы
- Программа или множество программ, используемых для управления компьютером
- Совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ (ГОСТ 19781-90) [23].

Программное обеспечение является одним из видов обеспечения вычислительной системы, наряду с техническим (аппаратным), математическим, информационным, лингвистическим, организационным и методическим обеспечением.

3.1.1 Разработка блок-схемы

Схема — графическое представление определения, анализа или метода решения задачи, в котором используются символы для отображения данных, потока, оборудования и т. д.

Блок-схема — распространенный тип схем (графических моделей), описывающих алгоритмы или процессы, в которых отдельные шаги

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						62
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

изображаются в виде блоков различной формы, соединенных между собой линиями, указывающими направление последовательности. Правила выполнения регламентируются ГОСТ 19.701-90 «Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения». Стандарт в частности регулирует способы построения схем и внешний вид их элементов [24].

Для разработки программного обеспечения необходимо разработать блок-схему описывающую процесс управления LCD – модулем с помощью микроконтроллера STM32F411RE. Данная блок-схема разработана в соответствии с ГОСТ 19.701-90, и представлена на рисунке 3.1.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						63
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

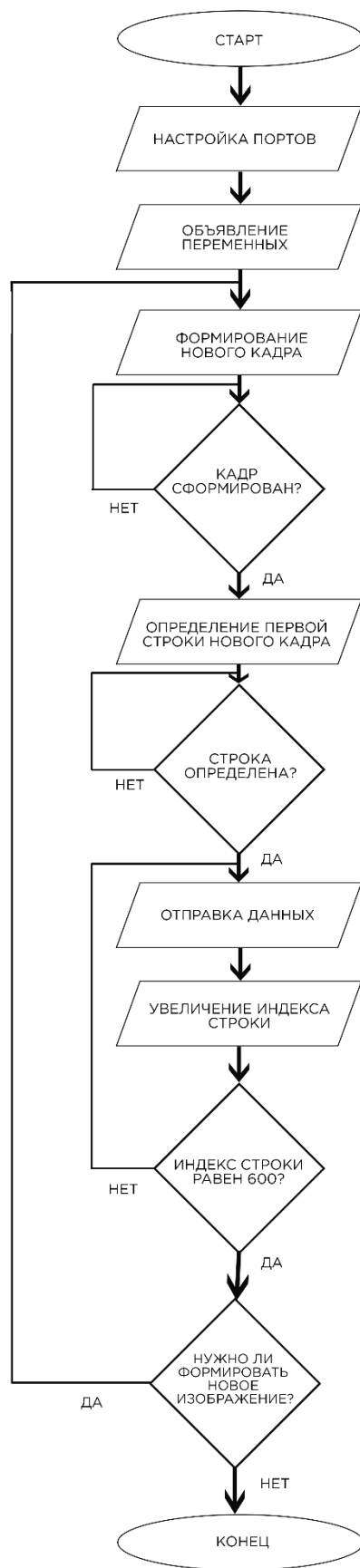


Рисунок 3.1 – блок-схема описывающая процесс управления LCD – модулем с помощью микроконтроллера STM32F411RE

3.1.2 Описание работы программы

Рассмотрим описание работы программы на основе приведенной выше блок-схемы.

Блоки Старт и Конец называются Терминатор. Графически изображается в виде овала. Данный блок отображает выход во внешнюю среду и вход из внешней среды (начало или конец схемы программы, внешнее использование и источник или пункт назначения данных).

Блок Объявление переменных называется блоком данных. Графически изображается в виде параллелепипеда. В данном блоке происходит объявление данных в программе.

Блоки Настройка портов, Формирование нового кадра, Определение первой строки нового кадра, Отправка данных, Увеличение индекса строки, называются блоком действия. Графически изображается в виде прямоугольника. Данный блок отображает предопределенный процесс, состоящий из одной или нескольких операций, или шагов программы [23].

После включения проектируемого стенда подаётся питание на LCD-модуль.

Далее происходит процесс настройки портов микроконтроллера. Порты микроконтроллера с которых отправляются управляющие сигналы и данные настраиваются на выход.

Следующим действием происходит процесс инициализации переменных. До выполнения основного цикла программы нам необходимо объявить все переменные, которые мы будем использовать в программе и присвоить им начальные значения.

Далее происходит процесс формирования нового изображения. На порт, к которому подключен управляющий сигнал FP, подаётся сигнал высокого уровня, после чего если какой-либо пиксел находился в зажженном состоянии, то он гаснет, а курсор переходит в начало первой строки.

Далее происходит процесс проверки, если курсор не переместился в начало первой строки, то проверка выполняется еще раз, до тех пор, пока курсор не

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						65
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

переместится в начало первой строки. Проверка нужна для того, чтобы избежать ошибки определения начала первой строки.

Следующим действием происходит определение начала первой строки. На порт, к которому подключен сигнал LP подаётся сигнал высокого уровня, счётчик строк сбрасывается.

После чего происходит проверка, определилось ли начало первой строки.

Если строка определилась, то программа переходит к следующему действию, если нет, то проверка повторяется до тех пор, пока начало строки не определится.

Когда начало строки определено, начинается процесс отправки данных, на порты к которым подключена шина данных выставляются данные.

После того как отправка данных началась, на порты к которым подключены сигналы FP и LP подаётся сигнал низкого уровня.

После того как отправка данных первой строки окончена, индекс строки увеличивается на единицу.

Далее происходит процесс проверки индекса строки, если не равен 600, то происходит отправка данных для следующей строки, а если индекс равен 600, то программа переходит к следующему действию.

После того как все данные отправлены, пиксели загорелись в нужной комбинации, если нужно следующее изображение, то программа переходит в начало и снова подаётся сигнал FP, а если формирование нового изображения ненужно, то на экране фиксируется сформированное изображение.

3.2 Разработка кода программы в среде разработки IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbench — это интегрированная отладочная среда разработки приложений (IDE), обладающая рядом неоспоримых преимуществ. К ним относятся удобный пользовательский интерфейс, генерирование компактного объектного кода, поддержка различных типов RTOS (Micrium μ C/OS,II, OSEC ORTI) и JTAG-адаптеров третьих фирм (OLIMEX, Phyton, ASHLING), а также подробная техническая документация. Компания IAR Systems поставляет IDE для

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						66
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

широкого спектра 8-, 16-, 32-разрядных микропроцессоров таких фирм, как ARM, Infineon, Cypress, Atmel, Analog Devices, Microchip Technologies, Ember, NXP, National Semiconductor, STMicroelectronics, Texas Instruments, Renesas, Freescale, Silicon Labs и др.

Типовой комплект IAR Embedded Workbench содержит: C/C++ компилятор, транслятор языка ассемблера, компоновщик, управляющие программы для работы с библиотечными подпрограммами, редактор, менеджер проектов, C-SPY отладчик. Для большинства IDE поставка возможна в трех вариантах: Standard (полная профессиональная версия), Baseline (ограничения на объем генерируемого кода, отсутствие годовой технической поддержки) или Limited (не входят C-SPY отладчик, RTOS-модули, отсутствует поддержка MISRA C) [25].

Код разработанной программы для управления LCD – модулем представлен в приложении А.

Интерфейс среды разработки IAR Embedded Workbench представлен на рисунке 3.2.

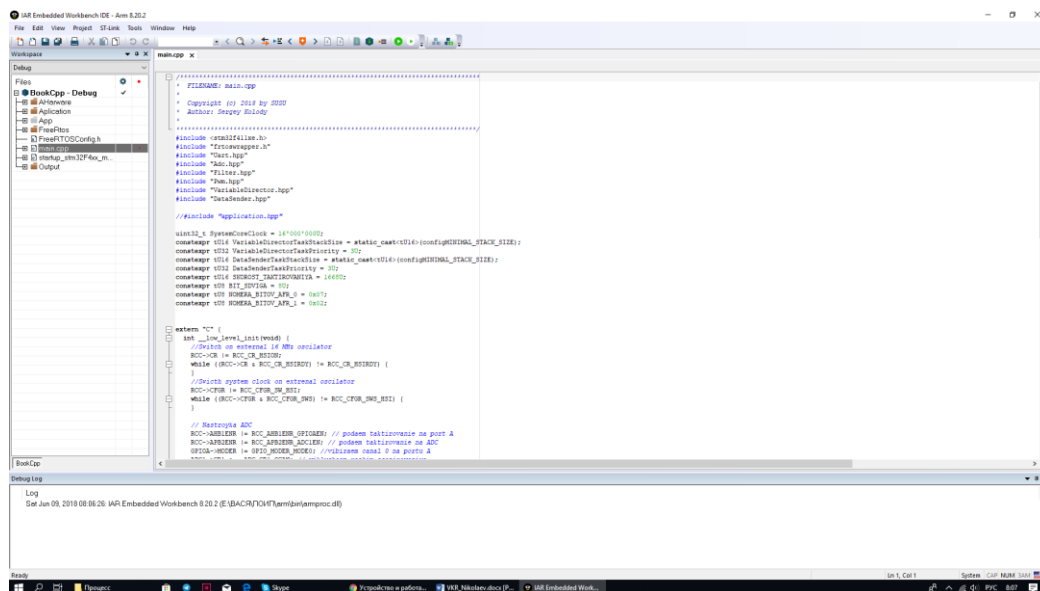


Рисунок 3.2 – Интерфейс среды разработки IAR Embedded Workbench

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						67
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

3.3 Выводы по разделу 3

В данном разделе была разработана программа для управления LCD – модулем. Программа разработана в среде разработки IAR Embedded Workbench. Также разработана блок-схема для описания работы программы.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						68
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был осуществлён анализ основных принципов построения стендов и имитаторов астроориентиров, были выявлены их недостатки.

Также в ходе данной выпускной квалификационной работы была разработана функциональная схема проектируемого стенда. Произведен обзор основных составляющих функциональной схемы проектируемого устройства. Определена общая структура и возможный аппаратный состав стенда на основе матричного LCD – модуля.

Также была разработана оптическая схема проектируемого устройства и произведен численный расчёт параметров для стенда с LCD – модулем, и стенда где в качестве имитатора астроориентира выступает монитор с электронно лучевой трубкой, при прочих равных условиях. По результатам этого расчёта было получено, что угловая точность стенда с LCD – модулем превосходит угловую точность стенда с электронной лучевой трубкой в 20 раз.

Также в ходе данной выпускной квалификационной работы был разработан код программы для управления LCD – модулем, разработана блок-схема описывающая работу программы и представлено описание данной программы.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						69
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмин В.С. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации КА: опыт разработки, проблемы и тенденции / В.С. Кузьмин, В.И. Федосеев // Оптический журнал. – 1996. – № 7. – С. 4–9.
2. Федосеев В.И. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов: учебное пособие / В.И. Колосов, В.И. Федосеев. – М.: Логос, 2007. – 248с.
3. Богословский, Д.Н. Удалённые модули индикации на базе жидкокристаллических индикаторов / Д.Н. Богословский, М.Г. Буряков // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 10 (18).
4. Большая советская энциклопедия : в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – М. : Сов. энцикл., 1969–1978. – 5 т
5. Колосов М.П. О математическом моделировании нарушения геометрии угломерных приборов / М.П.Колосов // Оптический журнал. – 1992. – № 5. – С. 3–6.
6. Гебгарт А.Я. Анализ нерасстраиваемых оптических систем афокальных сканеров / А.Я. Гебгарт, М.П. Колосов // Оптический журнал. – 1998. – № 8. – С. 66–70.
7. Колосов М.П. Оптическая система с концентрическим объективом / М.П. Колосов // Оптико-механическая промышленность. – 1986. – № 4. – С. 22–25.
8. Колосов М.П. Оптическая система на основе коллиматора с кольцевым полем / М.П. Колосов // Оптико-механическая промышленность. – 1990. – № 3. – С. 30–31.
9. Колосов М.П. Оптика адаптивных угломеров / М.П. Колосов. – М.: ООО «СКАН-1», 1997. – 412 с.
10. Мейтин В.А. Угломерный инструмент с квазиидеальной системой координат / В.А. Мейтин, В.С. Чернов // Оптико-механическая промышленность. – 1983. – № 10. – С. 45–47.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						70
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

11. Функциональная схема -
https://ru.wikipedia.org/wiki/Функциональная_схема
12. ГОСТ 2.702 – 2011 Единая система конструкторской документации(ЕСКД).
 Правила выполнения электрических схем.
13. Персональный компьютер -
https://ru.wikipedia.org/wiki/Персональный_компьютер
14. Микроконтроллер - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Микроконтроллер>
15. Васильев А.Е. Микроконтроллеры: разработка встраиваемых приложений /
 А.Е. Васильев. – М.: «БХВ-Москва», 2008. – 341с.
16. HD44780U User Manual -
<http://fab.cba.mit.edu/classes/863.06/11.13/44780.pdf>
17. Atmel - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Atmel>
18. ATtiny44 Datasheet -
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc8006.pdf>
19. ATmega168 Datasheet -
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2545-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48-88-168_Datasheet.pdf
20. STM32F411RE Datasheet -
<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/b3/a5/46/3b/b4/e5/4c/85/DM00115249.pdf/files/DM00115249.pdf/jcr:content/translations/en.DM00115249.pdf>
21. Жидкокристаллический дисплей -
https://ru.wikipedia.org/wiki/Жидкокристаллический_дисплей
22. Ampire – о производителе - <https://www.macrogroupp.ru/producers/ampire>
23. ГОСТ 19781 – 90. Обеспечение систем обработки информации программное.
 Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 12 с.
24. Блок-схема - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Блок-схема>
25. IAR Library Functions - http://perso.citi.insa-lyon.fr/afraboul/rts6/doc/EW430_IAR_C_LIB.pdf

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						71
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код основной программы:

```
/******  
* FILENAME: main.cpp  
*  
* LCD Driver (c) 2018 by SUSU  
* Author: Vasiliy Nikolaev  
*  
*****/  
  
#include <stm32f411xe.h>  
#include "LcdController.hpp"  
  
uint32_t SystemCoreClock = 16'000'000U;  
  
extern "C" {  
int __low_level_init(void) {  
    //Switch on external 16 MHz oscilator  
    RCC->CR |= RCC_CR_HSION;  
    while ((RCC->CR & RCC_CR_HSIRDY) != RCC_CR_HSIRDY) {  
    }  
    //Swicth system clock on extrenal oscilator  
    RCC->CFGR |= RCC_CFGR_SW_HSI;  
    while ((RCC->CFGR & RCC_CFGR_SWS) != RCC_CFGR_SWS_HSI) {  
    }  
  
    //Podaem taktirovanie na porty A,B,C  
  
    RCC->AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOAEN; // podaem taktirovanie na PA
```

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						72
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

```
RCC->AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOBEN; // подаем тактирование на PB
```

```
RCC->AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOCEN; // подаем тактирование на PC
```

```
//Настраиваем порты A,B,C
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE0_0; //potr PA0
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE1_0; //potr PA1
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE2_0; //potr PA2
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE3_0; //potr PA3
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE4_0; //potr PA4
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE5_0; //potr PA5
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE6_0; //potr PA6
```

```
GPIOA->MODER |=GPIO_MODER_MODE7_0; //potr PA7
```

```
GPIOC->MODER |=GPIO_MODER_MODE0_0; //potr PC0
```

```
GPIOC->MODER |=GPIO_MODER_MODE1_0; //potr PC1
```

```
GPIOC->MODER |=GPIO_MODER_MODE2_0; //potr PC2
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE0_0; //potr PB0
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE1_0; //potr PB1
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE2_0; //potr PB2
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE3_0; //potr PB3
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE4_0; //potr PB4
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE5_0; //potr PB5
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE6_0; //potr PB6
```

```
GPIOB->MODER |=GPIO_MODER_MODE7_0; //potr PB7
```

```
return 1;
```

```
}
```

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						73
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

```

}

//Delay in cykle way to simplify the example
inline void Delay(unsigned int mSec) {
for (unsigned int i = 0U; i < mSec * 2000U; i++) {
__NOP();
};
}

```

```

int main(void) {

LcdController myLcdController;
myLcdControler.SendFrame();

return 1;
}

```

Код класса LcdController:

Код hpp файла:

```

/*****
* FILENAME: LcdController.hpp
*
* LCD Driver (c) 2018 by SUSU
* Author: Vasiliy Nikolaev
*
*****/

#ifndef LCDCONTROLLER_H
#define LCDCONTROLLER_H
#include <stm32f411xe.h>

```

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						74
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		


```

#include "susutypes.h"
#include "utils.hpp"

#define strsize (tU32) 800U
#define framesize (tU32) 600U
#define UPVALUE (tF8) 3.3
#define LOWVALUE (tF8) 0.7

struct point
{
    tU8 R;
    tU8 G;
    tU8 B;
}

class LcdController
{
public:
    LcdController();
    void SendString(point * strup, point * strlow, int strsize);
    void SendFrame(point ** frame, int framesize);

private:
    tU16 i = 0U; //schetchik point
    tU16 j = 0U; //schetchik strok
};
#endif

```

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						75
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

Код сpp файла:

```
/*
 * FILENAME: LcdController.cpp
 *
 * LCD Driver (c) 2018 by SUSU
 * Author: Vasiliy Nikolaev
 *
 */

#include "LcdController.hpp"
#include "susutypes.h"

LcdController::LcdController()
{
}

/*
 *
 * SendString its function generate our string for LCD-modul
 *
 */

void LcdController::SendString(point * strup, point * strlow, int strsize)
{
    if(i = 0; i < strsize; i++)
    {
        GPIOA_BSRR = strup->R;
        GPIOA_BSRR = strup->G;
        GPIOA_BSRR = strup->B;
    }
}
```

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						76
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		

```
GPIOB_BSRR = strup->R;
```

```
GPIOB_BSRR = strup->G;
```

```
GPIOB_BSRR = strup->B;
```

```
strup++;
```

```
strlow++;
```

```
GPIOC_ODR -> GPIO_ODR_OD2 = UPVALUE;
```

```
GPIOC_ODR -> GPIO_ODR_OD2 = LOWVALUE;
```

```
}
```

```
}
```

```
/******
```

```
*
```

```
* SendFrame its function send generated string from LCD-modul
```

```
*
```

```
*****/
```

```
void LcdController::SendFrame(point ** frame, int framesize)
```

```
{
```

```
point *strup = frame;
```

```
point *strlow = (frame + 300);
```

```
if(j = 0; j < framesize/2; j++)
```

```
{
```

```
frame = strup[j];
```

```
frame + 300 = strlow[j];
```

```
}
```

```
}
```

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 283. ВКР	Лист
						77
Изм.	Лист	№	Подп.	Дата		