

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БОРТОВЫХ ЭВМ ГОЛОВКИ САМОНАВЕДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Вачиберидзе Г., Камкамидзе К.  
Грузинский Технический Университет

### Резюме

Рассмотрены вопросы разработки вычислительного комплекса для моделирования работы бортовых ЭВМ головки самонаведения летательных аппаратов. Разработанный комплекс позволяет провести моделирование функционирования специализированной микро-ЭВМ как в работе с датчиком текущего изображения, так и без него. Изложен метод и представлены соответствующие алгоритмы вычисления отклонения координат летательного аппарата от цели с помощью частичной суммы структурной функции, алгоритмы реализации которой построены на принципе КЭСС. Разработана архитектура летающей лаборатории для исследования и улучшения алгоритмов наведения и управления ЛА, а также уточнения параметров радиолокационного координатора головки самонаведения в реальных условиях в космосе.

**Ключевые слова:** Летательный аппарат. Головка самонаведения. Бортовой компьютер. Моделирующий вычислительный комплекс. Математическое моделирование. Вектор коррекции. Изображение. Структурная функция.

### 1. Введение

В последнее время особое внимание было уделено разработкам по созданию экспериментальных образцов специализированных цифровых вычислительных машин для головки самонаведения летательных аппаратов.

В работах [1-3] отражены результаты исследований и разработок по проектированию этих машин на базе серийно выпускаемых микро – ЭВМ на перспективных микропроцессорных комплексах, а также контрольно-диагностической аппаратуры.

В данной статье рассмотрены вопросы моделирования работы специализированной цифровой вычислительной машины (СЦВМ) – бортового компьютера (БК), предназначенного для высокоточного наведения головки самонаведения (ГСН) летательных аппаратов (ЛА) на малоразмерные цели. При этом основной задачей бортового компьютера является распознавание текущего изображения (ТИ), определение местоположения ЛА путем сравнения текущего и эталонных изображений (ЭИ) в процессе поиска цели и вычисление отклонений ГСН от цели для выработки вектора коррекции траектории.

### 2. Основная часть

Для реализации поставленной задачи проанализирован алгоритм функционирования БК ГСН, вычислены частичные суммы, по которым рассчитываются координаты отклонения ЛА от цели и определяется вектор коррекции.

Алгоритм функционирования БК ГСН в рабочем режиме включает вычисления высоты положения летательного аппарата –  $H(\Delta t)$ , путем суммирования наклонных дальностей –  $H_i$  (текущая высота ЛА), учитывая вертикальную составляющую его скорости –  $V_{yi}$  за время  $\Delta t$ , по формуле:

$$H(\Delta t) = \frac{1}{K_1} \sum_{i=1}^{K_1} H_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{K_1} V_{yi} \Delta t, \quad (1)$$

где  $K_1$  – общее число циклов (число угловых направлений) для каждой высоты.

По мере вычисления высоты ЛА, БК производит ее сравнение с наперед заданной пороговой величиной. При достижении ЛА одной из пороговых высот, БК переходит к вычислению углового направления

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1 + \lambda_2, \quad (2)$$

где  $\lambda_1$  – величина угла между направлением луча антенны бортовой радиолокационной станции (РЛС) и корпусом ЛА, а  $\lambda_2$  – величина угла между корпусом ЛА и направлением на Север. Величина  $\lambda_1$  поступает с датчика текущего изображения – ДТИ, а  $\lambda_2$  - с инерциальной системы управления (ИСУ) летательного аппарата.

В момент равенства  $\lambda_{\Sigma}$  пороговому значению происходит считывание текущей информации с ДТИ и вычисление частичной суммы структурной функции  $M_i$ :

$$M_i = \frac{1}{K_2} \sum_{j=1}^{K_2} (TU_j - \partial U_{ij})^2, \quad (3)$$

Сравнение текущего и эталонных изображений, проводимое в БК для определения координат отклонения ЛА, осуществляется на основе корреляционной экстремальной системы сравнения (КЭСС). При этом текущее изображение формируется радиолокационным координатором (РК). Измеряя параметры отраженных сигналов РК, можно получить информацию о виде поверхности Земли, которую зондирует РК. Для наведения ЛА на цель обычно используются наиболее устойчивые признаки, такие как рельеф и подстилающая поверхность.

Рельеф вокруг цели характеризует временная задержка сканирующего луча РК при распространении от поверхности Земли и обратно, а вид подстилающей поверхности можно определить на основании величины эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) –  $\sigma$ , которая определяется выражением :

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{W_2}{W_1}, \quad (4)$$

где  $R$  – расстояние от ЛА до поверхности;  $W_1$  – плотность потока мощности падающей волны;  $W_2$  - плотность потока мощности отраженной волны. ЭПР по такому определению не зависит от расстояния ЛА до поверхности, т.к. отношение плотностей потоков мощностей отраженной и падающей волн обратно пропорционально квадрату расстояния, т.е.  $\frac{W_2}{W_1} \approx \frac{1}{R^2}$ .

Таким образом, на вход вычислительного устройства КЭСС БК, с одной стороны поступает текущее изображение в виде цифровой информации о рельефе местностей, определяемому амплитудой и временной задержкой отраженного сигнала (принятого РК) и цифровой информации о ЭПР местности, а с другой – эталонное изображение местности цели, помещенный в память БК.

Эталонное изображение цели заранее готовится в результате математического моделирования отраженного сигнала от определенного участка вокруг цели с учетом заданных характеристик местности (рельеф и подстилающая поверхность), также на основе информации о районе цели, извлекаемой из аэрофотоснимков или топографических карт местности. При этом набор значений амплитуд сигналов представляет эталонное изображение яркости, характеризующее подстилающую поверхность, а набор значений временных задержек сигналов, характеризующих рельеф местности, представляет эталонное изображение рельефа.

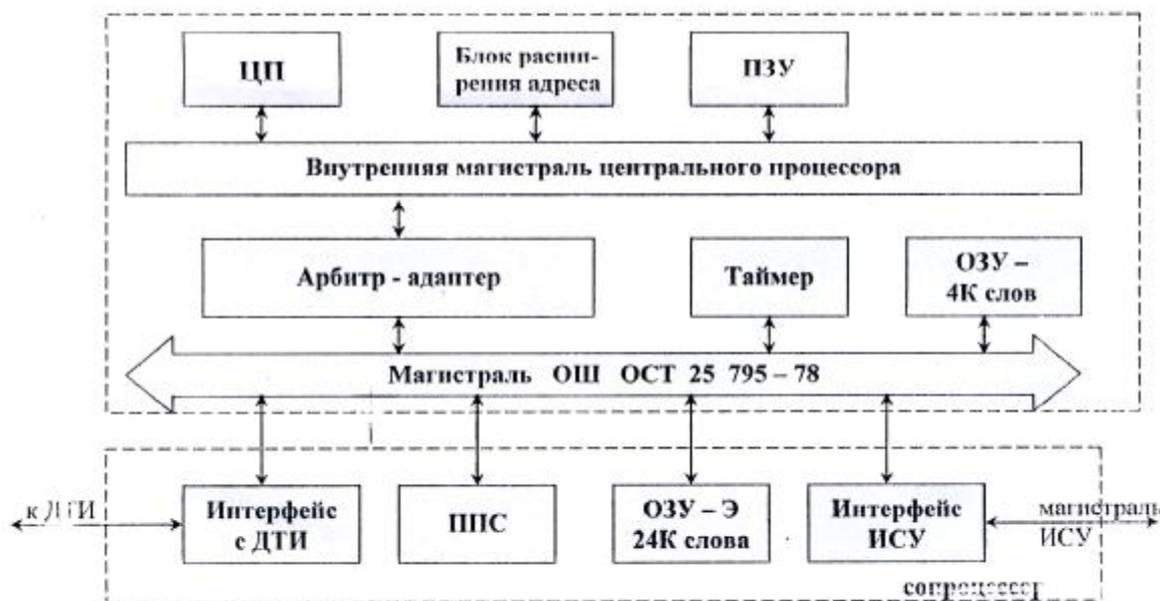
Каждому эталонному изображению приписываются координаты некоторой точки, связанной с участком местности.

Вычислительное устройство КЭСС БК, на основе заложенной эталонной информации о местности вокруг цели и поступающей текущей информации о местности, которую зондирует РК ЛА в данный момент времени, решает задачу распознавания зондируемой области с одним из эталонных изображений местности.

Для моделирования работы БК ГСН ЛА в качестве испытуемого объекта был выбран однопроцессорный спец – вычислитель типа ВМ– 40, производительностью  $1.25 \cdot 10^6$  операций/с, который построен на базе микропроцессорных комплектов (МПК) серий 1801 или 588. для реализации КЭСС ГСН, микро-ЭВМ ВМ -40 дополнен сопроцессором, который включает в свой состав программируемый процессор сигналов (ППС) для вычисления модульной функции в

реальном масштабе времени и в режиме прямого доступа к памяти эталонов, интерфейс с ДТИ, ОЗУ – для хранения эталонов четырех высот (объем 24 К слова) и интерфейс ИСУ с магистралью типа Винчестер – II [2].

Архитектура БК ГСН, выполненной на базе микро-ЭВМ ВМ -40, приведена на **Рис.1**.



**Рис.1.** Архитектура БК ГСН

Для моделирования БК ГСН был изготовлен моделирующий вычислительный комплекс (МВК), позволяющий регистрировать, анализировать и контролировать функционирование БК как при работе с ДТИ, так и без него. В последнем случае комплекс моделирует все те сигналы в заданной временной последовательности, которыми обмениваются в процессе ДТИ и ИСУ с БК. Архитектура МВК представлена на **Рис.2** и содержит в своем составе две микро-ЭВМ.

Одна из них служит для моделирования сигналов в заданной временной последовательности, анализа ответных реакций БК, контроля правильности функционирования и диагностики узлов БК, проводимой на основе анализа сигналов магистрали, объединяющей все модули БК. Другая микро-ЭВМ служит для регистрации всех сигналов, проходящих через магистраль ДТИ и ИСУ.

Испытуемый БК подключается через распределитель магистрали к ДТИ или к контроллеру КД комплекса в случае проверки без ДТИ. Анализ модулей БК проводит МВК посредством контроллера канала БК. Обмен информацией с ИСУ моделирует комплекс и передает в БК посредством контроллера ИСУ.

Регистрация сигналов в магистралях ДТИ и ИСУ проводится регистрирующей микро-ЭВМ посредством интерфейса магистрального обмена. Временная последовательность регистрируемых сигналов фиксируется посредством программируемого таймера. В состав обеих ЭВМ входят центральные процессоры, ОЗУ, постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) и интерфейсные модули для связи с алфавитно-цифровым дисплеем, фотосчитывателем и алфавитно-цифровым печатающим устройством.

ДТИ предназначен для моделирования контрольных воздействий, а контроллер ДТИ – для проверки работоспособности и отладки СЦВМ, а также для организации обмена информацией между комплексом и СЦВМ. Разработанный комплекс позволяет проводить тестирование специализированных вычислительных устройств распознавания радиолокационных изображений, а также осуществлять проверку функционирования устройств в динамическом режиме на рабочей частоте испытуемой СЦВМ. При этом процессы диагностирования реализуются программным способом.

Контроллер канала СЦВМ предназначен для наблюдения логических состояний цифровых устройств в канале испытуемой СЦВМ. При этом, информация о любом изменении логических состояний в канале записывается во внутреннюю память контроллера, обрабатывается и воспроизводится на экране дисплея в реальном масштабе времени и в удобной для пользователя форме. Всеми этими процессами управляет основная микро – ЭВМ, которая применяет также программные процедуры диагностики.

Контроллер ИСУ предназначен для работы на линию связи с последовательной передачей информации в дуплексном режиме. Контроллер преобразует параллельную информацию в последовательную и наоборот, а его приемо/передатчики – согласуют контроллер с каналом МВК.

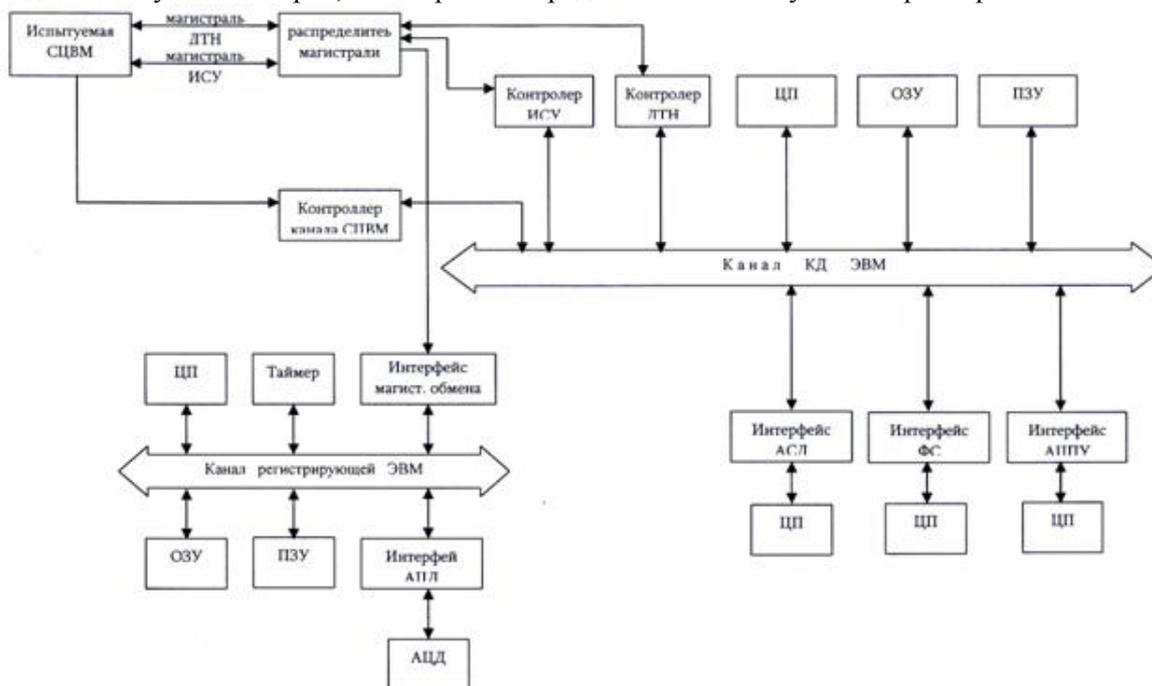


Рис.2. Архитектура МВК

Интерфейс магистрального обмена осуществляет связь регистрирующей ЭВМ с МВК и испытуемой СЦВМ через распределитель магистрали и представляет собой программно-управляемое от регистрирующей ЭВМ цифровое устройство.

Разработанные программные средства МВК обеспечивают:

- генерирование наборов контрольных воздействий и соответствующих эталонных реакций;
- имитацию внешних устройств ИСУ и ДТИ, математическое моделирование внешних сигналов, передаваемых в СЦВМ в реальном времени, также прием текущих реакций, поступающих в комплексе от СЦВМ;

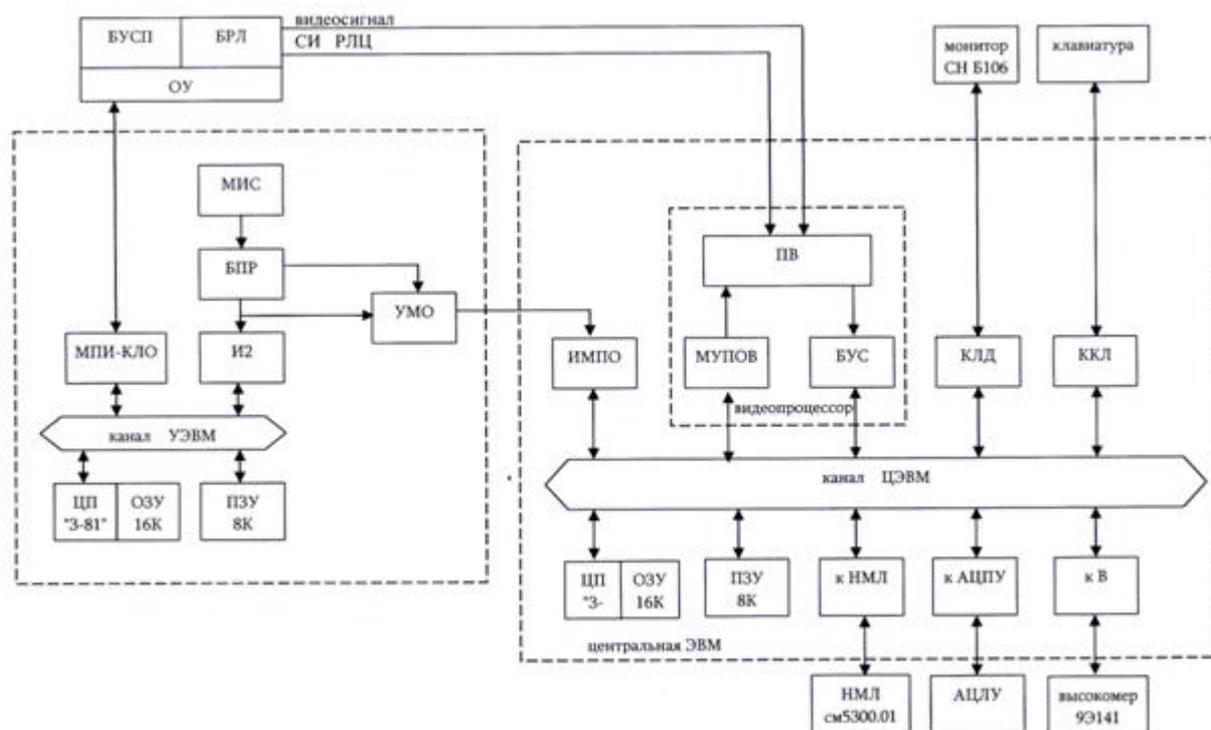


Рис.3. Архитектура летающей лаборатории

БУСП – блок управления следящей подвески;  
 БРЛ – бортовой радиолокатор;  
 ОУ – оконечное устройство;  
 МИС – малогабаритная инерциальная система;  
 БПР – блок преобразования сигнала;  
 УМО – устройство мультиплексного обмена;  
 И2 – блок параллельного обмена;

МПИ-КЛО – интерфейс последовательного обмена;  
 ПВ – преобразователь видеосигнала;  
 ИМПО – интерфейс микропроцессорного обмена;  
 БУС – блок усреднения  
 КЛД – контроллер полутонного дисплея;  
 ККЛ – контроллер клавиатуры.

внешний оперативный функциональный контроль работоспособности СЦВМ;  
 вывод данных о результатах моделирования, диагностики и контроля на устройство визуального отображения информации и устройство ведения протокола-алфавитно-цифровое печатающее устройство.

Программы генерирования контрольных воздействий и эталонных реакций предназначены для формирования различных наборов контрольных воздействий и однозначно соответствующих им эталонных реакций, согласно разработанным алгоритмам.

Программа функционального контроля обеспечивает выдачу, получение, преобразование, накопление, обработку и анализ измерительной, управляющей и контрольной информации в соответствующей форме, а также управление СЦВМ в режиме функционального контроля.

Программы математического моделирования ИСУ и ДТИ предназначены для имитации ИСУ и ДТИ и математического моделирования сигналов ИСУ и ДТИ, подаваемых на входы испытуемого изделия согласно временной диаграмме режимов работы СЦВМ и в режиме проводимого функционального контроля.

На основе разработанных систем и на базе двухпроцессорной быстродействующей специализированной микро-ЭВМ «Э - 81» создана летающая лаборатория (самолетный и вертолетный варианты) широкого профиля, архитектура которой представлена на **Рис.3**.

Летающая лаборатория обеспечивает: контроль функционирования СЦВМ и диагностику ее узлов; моделирование сигналов в заданной временной последовательности, которыми обмениваются в процессе работы ИСУ и ДТИ с СЦВМ, их регистрацию и анализ с одной стороны, в автоматическом и интерактивном режимах прием текущего изображения (видеосигналов), их обработку и регистрацию угловых параметров малогабаритной инерциальной системы ЛА, и с другой; формирование управляющих сигналов бортовой РЛС и следящего подвеса, а также фиксации и хранение результатов моделирования, экспериментов и испытаний.

### **3. Заключение**

На основе анализа алгоритма функционирования испытуемого бортового компьютера головки самонаведения ЛА разработан моделирующий вычислительный комплекс, который служит для моделирования сигналов в заданной временной последовательности, анализа ответных реакции БК, контроля правильности работы и диагностики узлов БК, а также для регистрации всех сигналов, проходящих через ДТИ и ИСУ. Разработана архитектура летающей лаборатории для исследования и улучшения алгоритмов наведения и управления ЛА в реальных условиях и космосе.

### **Литература:**

1. Вачиберидзе Г.Д., Петров Л.В. Исследования и разработка специализированной цифровой вычислительной машины головки самонаведения и контрольно-диагностической аппаратуры. Труды ТФ ЦНИИАГ, Тбилиси, 1986.
2. Вачиберидзе Г.Д., Петров Л.В., Чхенкели А.Л. Бортовая система сравнения всепогодной головки самонаведения. Труды ТФ ЦНИИАГ, Москва 1982.
3. Вачиберидзе Г.Д. О некоторых аспектах цифровой обработки радиолокационных сигналов и изображений. GEORGIAN ENGINEERING NEWS, №2, Тбилиси, 1980.

### **სავსრენი აპარატების თვითდამიზნების სათავო ნაწილის საბორტო ეგმ-ის მუშაობის მოდელირება**

გიორგი ვაჩიბერიძე, კონსტანტინე კამკამიძე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### **რეზიუმე**

სტატიაში განხილულია გამოთვლითი კომპლექსის დამუშავების საკითხები, გათვალისწინებული საფრენი აპარატების თვითდამიზნების სისტემის სათავო ნაწილის საბორტო ეგმ-ის მუშაობის მოდელირებისათვის. დამუშავებული კომპლექსი შესაძლებლობას იძლევა ჩატარდეს სპეციალიზირებული მიკრო – ეგმ-ის ფუნქციონირების მოდელირება როგორც მიმდინარე გამოსახულების გადამწოდის გამოყენებით, ასევე – მის გარეშე. აღწერილია მეთოდი და წარმოდგენილია შესაბამისი ალგორითმები, რომლებიც შესაძლებლობას იძლევა გამოვივლოთ მიზნისგან საფრენი აპარატების გადახრის კოორდინატები სრუქტურული ფუნქციის კერძო ჯამის საშუალებით. ამ ფუნქციის რეალიზაციის ალგორითმი აგებულია შედარების კორელაციურ – ექსტრემალური სისტემის პრინციპზე. დამუშავებულია მფრინავი ლაბორატორიის არქიტექტურა საფრენი აპარატების მართვის და დამზერის ალგორითმების გასაუმჯობესებლად, აგრეთვე თვითდამიზნების სათავო ნაწილი რადიოლოკაციური კოორდინატორის პარამეტრების დასაზუსტებლად კოსმოსის რეალურ პირობებში.

### **WORK MODELING OF AIRCRAFT'S SELF-AIMING CENTRAL PART'S BOARDING COMPUTER**

Vachiberidze Giorgi, Kamkamidze Konstantin  
Georgian Technical University

### **Summary**

The article covers the developing activities of computing complexes, taken into account the work modeling of aircraft's self-aiming central part's board computer. The processed complex gives the capability of performing performance modeling of specialized microcomputer, for using current expression transformer, as well as without it. The methods are described and appropriate algorithms are presented that gives the possibility for calculating the deviation coordinates of aircraft from the aim using the structural function. The realization algorithm of this function is built up on the principle of correlation-extreme system. The architecture of boarding laboratory is structured for improving aircraft management and algorithms, also for specifying parameters of radio-locational coordination of self-aiming central part in real cosmic circumstances.