

УДК 004.03

**БОРТОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ИХ
НАЗНАЧЕНИЕ****Гарманов Сергей Семенович**

Кандидат военных наук, полковник запаса, доцент кафедры Общевоенной подготовки,
Военный учебный центр при Российском технологическом университете МИРЭА
119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78
Email: garmanov@mirea.ru

Губарев Сергей Александрович

Подполковник запаса, преподаватель кафедры Общевоенной подготовки,
Военный учебный центр при Российском технологическом университете МИРЭА
119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78
Email: gubarev_s@mirea.ru

Аряшев Сергей Сергеевич

Студент 4 курса
Институт перспективных технологий и индустриального программирования
Российский технологический университет МИРЭА
119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78
Email: aserg2512@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена истории развития отечественных бортовых цифровых вычислительных машин. Авторы затрагивают все этапы развития вычислительных машин, начиная от первого появления и заканчивая современными, рассказывает о технических характеристиках и делит на группы в зависимости от архитектуры и структуры изделий. Особое внимание уделяется используемым бортовым цифровым вычислительным машинам, в частности их назначению и техническим характеристикам.

Ключевые слова: бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ), БЦВМ первого поколения, БЦВМ второго поколения, БЦВМ третьего поколения, БЦВМ четвертого поколения, БЦВМ-386-1, БЦВМ-386-6, БЦВМ-486-1М, БЦВМ-486-2К, БЦВМ-900, БЦВМ «БАГЕТ-53-31», БЦВМ «БАГЕТ-53-31М», БЦВМ «БАГЕТ-53-31М СЕРИЯ 1.

ONBOARD DIGITAL COMPUTERS AND THEIR PURPOSE**Sergey S. Garmanov**

Candidate of Military Sciences, Reserve Colonel, Associate Professor of the Department of
General Military Training
Military Training Center at the Russian Technological University MIREA

78 Prospekt Vernadskogo, Moscow, 119454
Email: garmanov@mirea.ru

Sergey A. Gubarev

Reserve Lieutenant Colonel, teacher of the Department of General Military Training
Military Training Center at the Russian Technological University MIREA
78 Prospekt Vernadskogo, Moscow, 119454
Email: gubarev_s@mirea.ru

Sergey S. Aryashev

Student 4 term
Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming
Russian Technological University MIREA
78 Prospekt Vernadskogo, Moscow, 119454
Email: aserg2512@gmail.com

ABSTRACT

The article is devoted to the history of the development of domestic onboard digital computers. The author touches on all stages of the development of computing machines, starting from the first appearance and ending with modern ones, talks about technical characteristics and divides them into groups depending on the architecture and structure of products. Special attention is paid to the onboard digital computers used, in particular their purpose and technical characteristics.

Keywords: on-board digital computer (OBDC), first-generation OBDC, second-generation OBDC, third-generation OBDC, fourth-generation OBDC, OBDC -386-1, OBDC -386-6, OBDC -486-1M, OBDC -486-2K, OBDC -900, OBDC "BAGET-53-31", OBDC "BAGET-53-31M", OBDC "BAGET-53-31M SERIES 1.

Бортовые цифровые вычислительные машины (БЦВМ), как часть бортового оборудования воздушного судна появились в 1960 году. Они почти моментально заменили своих предшественников – аналоговые вычислительные машины [1]. Основным и самым важным отличием цифровых от аналоговых вычислительных машин является высокая точность решения поставленных задач и разнообразие логических возможностей техники.

Благодаря своей мощности и компактности БЦВМ начали использовать в каждой системе авиационной промышленности. Благодаря им, управление самолетом и бортовой техникой выходило на новый уровень. Цифровые машины позволяют взаимодействовать модулям между собой, образуя тем самым единый комплекс бортового оборудования (КБО). Такое объединение повысило безопасность полета в несколько раз.

Использование таких технологий потребовало некоторой унификации электронных систем самолета, что снизило затраты и время, затрачиваемые на разработку, внедрение и дальнейшую модернизацию КБО, а также эксплуатационные расходы.

Чтобы эффективно использовать цифровые машины в самолете, требовалось решить такие проблемы:

- БЦВМ должен соответствовать всем необходимым требованиям применения.

- Создание системы обмена, обеспечивающей связь с бортовым оборудованием и с оператором, находящимся на земле.

- Разработка нового программного обеспечения, которое должно включать создание и отладку программ и инструментов для обеспечения компьютерного процесса и работы машины.

Очевидно, что основная задача заключалась в том, чтобы спроектировать БЦВМ и создать специальную систему, которая могла стабильно обмениваться данными. Однако, из-за сложности конструкции цифровых машин и большого расширения задач с разработкой нового программного обеспечения были тоже свои трудности.

Уже в 1965-х году появились компании, которые хорошо преуспели с созданием, оптимизации и производства БЦВМ - ЛНПОЭА (Санкт-Петербург), НИТЕВТ (Москва) и ХК Ленинец (Санкт-Петербург), они и стали основными разработчиками на следующие 20-30 лет. Со временем число разработчиков пополнили такие компании, как МИЭА (Москва), Управление авиационной автоматики (Курск), 3-й МПЗ МВЗ «Авионика» (Москва) и др. В 1990 году еще присоединились Раменский приборостроительный завод и НИИСИ РАН (Москва) [2,3].

Со взлетом микропроцессорной электроники, разработка БЦВМ вышла на новый уровень. Появились такие БЦВМ, как: БЦВМ серий «Интеграция», «Молния-д» БЦВМ «Алиса», БЦВМ МПО, БЦВМ «Сигма» и другие. Но многие, выше представленные разработки не нашли своего применения. В 1990 годах появились цифровые машины на основе i80386 и i80486 [2].

В 1970 году БЦВМ стали использоваться во всех подсистемах КБО. На борту любого летательного судна использовались БЦВМ специальной архитектуры, в зависимости от задач. Такие расклады затрудняли разработку аппаратно-программного обеспечения КБО, соответственно увеличивалось время создание и финансовые затраты на их разработку и отладку.

В течение трех десятилетий БЦВМ модернизировались. Скорость увеличилась, достигнув больше миллиона операций в секунду, а емкость хранилища достигла 8-16 МБ. В то же время снизился вес и энергопотребление. Это связано с улучшением архитектуры. элементная база и структурная организация машин.

Изначально, основу БЦВМ составляли дисконтные компоненты, но с открытием новых элементов и развитием технологий, стали использовать интегральные схемы.

Основное достоинство интегральных схем - замена компонентов. Благодаря такой способности, производительность БЦВМ увеличилась в 20 раз, а вес и энергопотребление уменьшались в 10 раз.

В период 1980-1990 годов микропроцессорная техника стремительно развивалась, что позволяло увеличить скорость обработки информации компьютера в несколько раз и оптимизировать внешние интерфейсы.

В первых, рабочих БЦВМ использовали неунифицированные шины для обмена данными бортового оборудования и преобразователи «код - аналог» и «аналог-код» для связи [4].

По мере развития науки, структура БЦВМ претерпевала изменения. Так начали использовать, в качестве внутреннего интерфейса - «общую шину», а затем системную шину VME, которая является открытым интерфейсом. Для передачи последовательных кодов используется аналоговый внешний интерфейс с радиоканалами, пропускная способность которого составляет 48 кбит/с. Дальше сигнал переходит на внешний интерфейс на котором находятся мультиплексные каналы с пропускной способностью 1 Мбит/с. Позже, стали

использовать внешний интерфейс с сетевой составляющей AS4074 (HSDB), SCI (для системам реального времени) с большой пропускной способностью 1 Гбит/с и 1 Гбит/с.

Проанализируем все этапы создания БЦВМ и на основе полученных данных выявим основные отличия. На основе анализа можно выделить четыре основных поколения БЦВМ.

Для первого поколения БЦВМ характерна: примитивная структура с использованием еще дискретных элементов и как следствие, слабая вычислительная мощности. Основные модули, характерные структуре БЦВМ первого поколения: операционные запоминающие устройства, вторичный источник питания, одноуровневая память. Архитектура таких вычислительных машин состояла из функциональных блоков специального назначения. Любая модернизация – полное изменение такого блока.

Рассмотрим второе, более совершенное, поколение БЦВМ. В его структуру входят процессоры, включающие в себе сумматоры и разные технологии для более быстрого вычисления и выполнения комбинационных операций. Такие структуры делала на основе интегральных схем, но несмотря на большое увеличение мощности, по сравнению с первым поколением, осуществить модернизацию оставалось все еще проблематично.

Взаимодействие с операторами БЦВМ первого и второго поколения осуществлялось через специальные устройство сопряжения, для которых необходим набор «аналого-цифровых» и «цифро-аналоговых» преобразователей. Необходимость именно этих преобразователей связана с наличием в бортовых системах только аналогового интерфейса. Такие устройства были спроектированы, как автономный блок, который может взаимодействовать с бортовыми системами по цифровому каналу или интегрированного в БЦВМ устройства ввода-вывода.

Для третьего поколения БЦВМ начали использовать многоуровневую систему прерывания, оперативную память, каналы прямого доступа к памяти, защитные технологии от несанкционированного доступа и средства многопроцессорной обработки. Структура этих БЦВМ позволяет менять характеристики техники путем подключения необходимых модулей. В внешнем интерфейсе для обмена данными кроме старых преобразователей добавили последовательные коды и мультиплексные каналы.

Для четвертого поколения БЦВМ характерна открытая архитектура. Обычно, машины этого поколения имеют интегрированную структуру, в которую входят специализированные процессоры. Благодаря использованию открытых интерфейсов, создается один глобальный интерфейс, охватывающий все элементы системы.

Один из ведущих поставщиков четвертого поколения БЦВМ в России является ОАО «Раменское конструкторское бюро приборостроения». «Раменское конструкторское бюро приборостроения» является ведущим отечественным разработчиком бортовой техники для таких летающих средств, как: «Су», «МИГ», «Ту», «Ил», «Як», «МИ», «Ка», беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), космических объектов, морских и сухопутных транспортных средств [5].

Рассмотрим характеристики всех действующих БЦВМ, представленные в ОАО «РКБП».

Бортовая Цифровая Вычислительная Машина БЦВМ-386-1.

Предназначение - обработки информации бортовых навигационно-пилотажных систем, систем управления вооружением (рис. 1).

Технические Характеристики:

- 20 входных и 6 выходных независимых каналов последовательного обмена
- 3 мультиплексных канала информационного обмена
- 32 входных и 16 выходных линии разовых сигналов
- 32 битных процессор i486DX4-90

- ПЗУ 4 Мбайт,
- ОЗУ 2 Мбайт,
- срок службы: 25 лет [5].



Рисунок 1. БЦВМ-386-1.

Бортовая Цифровая Вычислительная Машина БЦВМ-386-6.

Предназначение - обработки информации в бортовых радиолокаторах (рис. 2).

Технические Характеристики:

- 32 входных и 16 выходных каналов последовательного обмена дуплексным кодом
- 2 канала мультиплексного обмена
- 1 канал параллельного обмена
- 32 входных и 16 выходных линии разовых сигналов
- 1 входная линия «Расширенный контроль»
- 1 входная линия «Автономный контроль с КПА»
- Ethernet 10/100 Mb
- 32 битный процессор Intel Atom E640T
- ПЗУ 8 Мбайт
- ОЗУ 512 Мбайт
- энергонезависимая память SATA 1 Гбайт
- срок службы: 25 лет [5].



Рисунок 2. БЦВМ-386-6

Бортовая Цифровая Вычислительная Машина БЦВМ-486-1м.

Предназначение - обработки информации бортовых навигационно-пилотажных систем, систем управления вооружением. Применяется в оптико-прицельном навигационном комплексе (рис. 3).

Технические Характеристики:

- 38 входных и 24 выходных каналов последовательного обмена дуплексным кодом
- 2 канала мультиплексного обмена с выполнением функций контроллеров,
- 32 входных и 16 выходных линии разовых сигналов
- 1 выходная линия «Исправность БЦВМ»
- 1 входная линия «Расширенный контроль»
- 1 входная линия «Автономный контроль с КПА»

- 1 входная линия «Признак исправности ведущей БЦВМ»
- 32 битных процессор i486DX4-90
- ПЗУ 4 Мбайт,
- ОЗУ 2 Мбайт,
- срок службы: 20 лет [5].



Рисунок 3. БЦВМ-486-1м.

Бортовая Цифровая Вычислительная Машина БЦВМ-486-2К

Предназначение - обработки информации бортовых навигационно-пилотажных систем, систем управления вооружением. Применяется в оптико-прицельном навигационном комплексе (рис. 4).

Технические Характеристики

- 30 входных и 9 выходных каналов последовательного обмена дупольярным кодом
- 4 канала мультиплексного обмена с выполнением функций контроллеров,
- 1 выходная линия «Исправность БЦВМ»
- 1 входная линия «Расширенный контроль»
- 1 входная линия «Автономный контроль с КПА»
- 16 входных и 16 выходных электрически изолированных от общего провода линий «27 В
- 32 входных и 8 выходных линии разовых сигналов «Общий-разрыв» борт/сеть
- 32 битных процессор i486DX4-90
- ПЗУ 4 Мбайт,
- ОЗУ 2 Мбайт,
- срок службы: 25 лет [5].



Рисунок 4. БЦВМ-486-2К.

Бортовая Цифровая Вычислительная Машина БЦВМ-900.

Предназначение - использования в самолетных бортовых радиолокационных станциях для обработки информации бортовых навигационно-пилотажных систем, систем управления вооружением (рис. 5).

Технические характеристики

- 16 входных и 9 выходных каналов последовательного обмена дупольярным кодом
- 8 входных линий разовых сигналов
- 1 канал обмена по магистральному параллельному интерфейсу

- 32 битный процессор i486DX4-90
- ПЗУ 4 Мбайт,
- ОЗУ 2 Мбайт,
- срок службы: 20 лет [5].



Рисунок 5. БЦВМ-900.

Бортовая цифровая машина БЦВМ «БАГЕТ-53-31».

Предназначение - выполнения вычислительных и управляющих функций.

Применяется в составе информационно-управляющих системах (рис. 6).

Технические характеристики

Микропроцессор:

- тип микропроцессора: КОМДИВ-64СМП (1890ВМ5Ф), архитектура MIPS IV
- 2 канала интерфейса Fibre Channel FC-AE-ASM (FC-PB-ПСНА) для информационного обмена, скорость передачи данных – 1062,5 Мбит/с
- 2 входных и 2 выходных канала телевизионных сигналов интерфейса Fibre Channel в соответствии с профилем ARINC 818, скорость передачи данных – 1062,5 Мбит/с
- 16 входных и 8 выходных независимых каналов последовательного обмена
- 4 канала мультиплексного обмена
- 12 входных и 12 выходных каналов «27 В борт/сеть» разовых команд
- 8 входных и 8 выходных каналов «общий/разрыв» разовых команд
- срок службы: 30 лет [4, 5].



Рисунок 6. БЦВМ «Багет-53-31»

Бортовая цифровая вычислительная машина БЦВМ «БАГЕТ-53-31М»

Предназначение - организация взаимодействий подсистем комплекса бортового радиоэлектронного и сопрягаемого оборудования, комплексной обработки информации, решения задач навигации и управления, а также специальных задач (рис. 7).

Технические характеристики

Модуль процессора: БТЗЗ-206Б

- архитектура микропроцессора: MIPS IV
- 16 входных и 8 выходных независимых каналов последовательного обмена
- 2 полнодуплексных канала интерфейса Fibre Channel для информационного обмена. Линейная скорость передачи данных – 1062,5 Мбит/с

- 4 канала мультиплексного обмена
- 6 технологических каналов интерфейса Ethernet 100 Мбит/с для обеспечения загрузки и отладки ПО в БЦВМ
- входные и выходные разовые команды
- 12 входных и 12 выходных электрически изолированных от общего провода линий «27 В борт-сеть»
- 8 входных и 8 выходных линий «общий-разрыв»
- 1 выходной сигнал «Исправность» БЦВМ
- срок службы: 30 лет [4,5].



Рисунок 7. БЦВМ «Багет-53-31М»

Бортовая цифровая вычислительная машина БЦВМ «БАГЕТ-53-31М СЕРИЯ 1».

Предназначение - организация взаимодействий подсистем комплекса бортового радиоэлектронного и сопрягаемого оборудования, комплексной обработки информации, решения задач навигации и управления, а также специальных задач (рис. 8).

Технические характеристики:

Модуль процессора: БТЗЗ-206Б

- архитектура микропроцессора: MIPS IV
- объем памяти: 8 Гбайт
- 16 входных и 8 выходных независимых каналов последовательного обмена
- 2 полнодуплексных канала интерфейса Fibre Channel для информационного обмена. Линейная скорость передачи данных – 1062,5 Мбит/с
- 1 выходной канал интерфейса Fibre Channel (в соответствии с профилем по ARINC 818) для выдачи графического изображения. Линейная скорость передачи данных – 1062,5 Мбит/с
- 4 канала мультиплексного обмена
- 6 технологических каналов интерфейса Ethernet 100 Мбит/с для обеспечения загрузки и отладки ПО в БЦВМ
- входные и выходные разовые команды:
- 12 входных и 12 выходных электрически изолированных от общего провода линий «27 В борт/сеть»
- 8 входных и 8 выходных линий «общий-разрыв»
- 1 выходной сигнал «Исправность» БЦВМ
- срок службы: 30 лет [4,5].



Рисунок 8. БЦВМ «БАГЕТ-53-31М СЕРИЯ 1

На основе описанных выше характеристик и описаний БЦВМ можно сделать вывод, что нет универсальной цифровой машины для выполнения всех возможных задач. Каждая БЦВМ уникальна по-своему. Но их можно поделить на категории:

- навигационно-пилотажные;
- радиолокационные;
- информационно-управляющие.

Для каждой категории характерны свои последовательные каналы, каналы интерфейсов и программное обеспечение.

Технологии развиваются, требования к БЦВМ растут. Уже есть новые способы повысить их производительность.

Один из них – повышение быстродействия. Это можно достичь путем изменения или внедрения новых технологичных интерфейсов

Второй способ – разработать сами БЦВМ на новых технологиях. Сделать более мощный процессор на основе 5нм. Тогда повысится производительность, средняя наработка на отказ в полете, срок службы. Для таких процессоров придется переработать корпус. В результате получится БЦВМ с меньшими габаритами и большей производительностью, что идеально подойдет для модернизации военных самолетов.

И последний способ – доработка ПО. Для быстрой обработки недостаточно только одних технологий, поэтому имеет смысл модернизировать ПО. Но в отличие от других способов, доработка ПО менее затратна по финансовым, и технологическим критериям. Следовательно, результат будет не таким большим.

Список литературы:

1. Баженов, А.В. Основы бортовых вычислительных машин/ Учебное пособие с грифом УМО. / А.В. Баженов- 2-еизд., перераб. – Ставрополь: СВВАИУ (ВИ), 2008. – 338 с. URL: <https://sccs.intelgr.com/editors/Vazhenov/Vazhenov-bbvm.pdf> (Дата обращения 05.05.2022)
2. НИИ «Аргон». Вехи полувекового пути. Москва, 1998. (Дата обращения 05.05.2022)
3. «БАГЕТ» - семейство ЭВМ для специализированных применений. КБ КОРУНД-М. Рекламные материалы. (Дата обращения 06.05.2022)
4. Перспективные ЭВМ семейства «БАГЕТ». КБ КОРУНД-М. 2017. URL: <https://nesmelov.com/images/portfolio/polygraphy/korund-m.pdf> (Дата обращения 07.05.2022)
5. Каталог продукции электронного направления. ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро». URL: https://mniirip.ru/sites/default/files/articles/katalog_elektronnogo_napravleniya_rpkb.pdf (Дата обращения 07.05.2022)

References:

1. Bazhenov, A.V. Fundamentals of on-board computers/ textbook with the UMO stamp. / A.V. Bazhenov - 2nd edition, reprint - Stavropol: SVVAIU (VI), 2008. - 338 s
2. Research Institute "Argon". Milestones of a half-century journey. Moscow, 1998 .
3. " BAGET " is a family of computers for specialized applications. KB CORUND-M. Promotional materials.
4. Promising computers of the BAGET family. KB KORUND-M. 2017
5. Catalog of electronic products. JSC "Ramenskoye Priboro stroitelnoe buro"