

Разработка системы на кристалле для абонентского спутникового терминала системы «Гонец-Д1М»

В.Я. Архипкин¹, М.И. Дябин², В.В. Ерохин³, М.В. Шеблаев⁴

¹ООО «Аккорд», генеральный директор, г. Москва, info@akkordsystems.ru

²ООО «Каскад», ведущий инженер, г. Москва, dyabin@mail.ru

³АО «НИИМА «Прогресс», начальник отдела разработки аппаратуры связи, г. Москва, vladimir.v.erokhin@gmail.com

⁴ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (факультет космических исследований МГУ), ассистент, г. Москва, sheblaev@cosmos.msu.ru

Аннотация — В статье приводится описание системы на кристалле, предназначенной для использования в качестве основы при разработке абонентского спутникового терминала системы «Гонец-Д1М». Дается обоснование необходимости и актуальности разработки современной электронной компонентной базы для абонентских спутниковых терминалов. Представлены особенности СнК, предназначенной для построения абонентского спутникового терминала. Перечислен состав устройств и интерфейсов, входящих в СнК. Приведена структурная схема СнК. Дается подробный анализ характеристик СнК. Обозначены основные требования, предъявляемые к модему абонентского спутникового терминала системы «Гонец-Д1М». Отражены перспективы развития, основное назначение и сферы применения Российской многофункциональной системы персональной спутниковой связи «Гонец».

Ключевые слова — абонентский спутниковый терминал, низкоорбитальная спутниковая группировка, спутниковый модем, процессорное ядро, система на кристалле.

I. ВВЕДЕНИЕ

С учетом возрастающей с каждым годом мобильности, увеличения количества транспортных средств, появления беспилотных объектов, развития технологий Интернета вещей, сегмент мобильного спутникового доступа в Интернет на основе низкоорбитальных систем является более перспективным в сравнении с геостационарными системами [8]. Рынок, очевидно, имеет перспективы роста и поэтому новые амбициозные игроки стремятся занять открывающиеся ниши. Основным преимуществом низкоорбитальных систем перед геостационарными являются более низкая задержка в канале связи. Это качество, а также полноценное глобальное покрытие (у геостационарных систем – до 72-75 параллели) и возможность обслуживания абонентов на пересеченной местности (у геостационарных – невозможность при наличии помехи

со стороны зоны радиовидимости космических аппаратов) становится все более важным в online-приложениях.

Российская многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС) «Гонец» предоставляет услуги мобильной спутниковой связи и мобильного спутникового доступа в Интернет с использованием низкоорбитальной спутниковой группировки «Гонец-Д1М», а с 2025 года – «Гонец-М1». Типичными сферами применения МСПСС «Гонец-Д1М» являются сбор и передача координатно-временной информации ГЛОНАСС от средств транспорта, сбор и передача информации с датчиков со стационарных или подвижных объектов в труднодоступных районах (например, мониторинг буровых вышек, метеорологических станций, трубопроводов и т. п.), персональная связь с абонентами в труднодоступных регионах, передача конфиденциальной информации между удаленными абонентами. Услуги на базе системы оказываются в глобальном масштабе.

Абонент системы «Гонец-Д1М» имеет возможность отправлять и получать текстовые сообщения неограниченного объема, используя абонентский терминал подвижной спутниковой связи «Гонец». В качестве адресатов могут выступать адреса электронной почты, абоненты мобильных сетей связи или абоненты спутниковой сети «Гонец». Оборудование и программное обеспечение космических аппаратов и абонентских терминалов спроектировано таким образом, что для работы системы не требуется непрерывное нахождение абонентов в зоне радиовидимости космического аппарата. При отсутствии совместной зоны радиовидимости абонентского терминала и космического аппарата сообщение буферизуется и передается при пролёте одного из космических аппаратов системы над абонентом.

II. АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ АБОНЕНТСКИХ СПУТНИКОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Очевидно, для того чтобы быть конкурентным на рынке абонентский спутниковый терминал должен строиться на основе быстродействующей, надежной, и в то же время малогабаритной и малопотребляющей элементной базы.

Современные тенденции развития рынка микроэлектроники и телекоммуникаций диктуют необходимость разработки «систем на кристалле» (System-on-Chip – SoC). Под устройствами класса «система на кристалле» (СнК) понимаются устройства, на едином кристалле которых интегрированы один или несколько процессоров, функциональных устройств, некоторый объем памяти, ряд периферийных устройств и интерфейсов, — то есть максимум того, что необходимо для решения поставленных перед аппаратурой задач. Разработка систем на кристалле предполагает оптимизацию разрабатываемой схемотехники, что непосредственно сказывается на быстродействии (производительности), потребляемой мощности, площади кристалла и, как следствие, его стоимости.

СнК в виде сверхбольших интегральных схем (СБИС) перспективны для реализации высокобюджетных проектов, предполагающих последующий крупносерийный выпуск изделий на их основе [2]. Основным преимуществом заказных СБИС является низкая стоимость конечного массового продукта. Поэтому с постоянным совершенствованием технологического цикла производства микросхем снижаются и требования к минимальным заказам СБИС. Становится выгодно заказывать специализированные микросхемы даже для средних объемов производства, получая основную прибыль от реализации конечной продукции, в данном случае - абонентских спутниковых терминалов. К сожалению, подобные проекты СБИС имеют свои недостатки: высокий уровень невозвратимых начальных затрат (NRE), длительное время разработки и верификации. В результате заказные СБИС доступны для конечных изделий при условии их большого тиража и длительного срока активного использования, что в полной мере соответствует концепции абонентских спутниковых терминалов системы «Гонец-Д1М».

III. ТРЕБОВАНИЯ К МОДЕМУ АБОНЕНТСКОГО СПУТНИКОВОГО ТЕРМИНАЛА СИСТЕМЫ «ГОНЕЦ-Д1М»

Абонентские терминалы системы «Гонец» выпускаются в стационарном, носимом и мобильном вариантах исполнения. Размеры терминалов и антенн компактны и пригодны для эксплуатации на различных видах объектов, а также для персонального использования. Абонентский терминал подвижной спутниковой связи «Гонец» предназначен для передачи в автоматическом режиме координатных данных и телематических данных с контролируемых подвижных и стационарных объектов. Программное обеспечение

терминала подразумевает необслуживаемую работу без участия оператора.

В спутниковых каналах «Земля – космический аппарат» (прямой канал) и «космический аппарат – Земля» (обратный канал) используется модифицированный GMSK сигнал (далее по тексту – MGMSK). Отличие MGMSK сигнала от GMSK модуляции состоит в применении перекодировки данных с целью обеспечить независимую передачу символов по квадратурным каналам.

Требования к модему абонентского спутникового терминала системы «Гонец-Д1М» приведены ниже:

- Диапазон рабочих частот: на передачу 313 – 315 МГц, на приём 387 – 390 МГц.
- Скорость приема информации в канале «Космос» – «Земля»: 9,6; 19,2; 38,4; 76,8 кбит/с.
- Скорость приема информации в канале «Земля» – «Космос»: 4,8; 9,6 кбит/с.
- Вид модуляции: MGMSK.
- Помехоустойчивое кодирование: каскадное.
- Внешний интерфейс: Ethernet 10/100 Base-T, USB.

IV. ОСОБЕННОСТИ СнК ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АБОНЕНТСКИХ СПУТНИКОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ СИСТЕМЫ «ГОНЕЦ-Д1М»

При разработке системы на кристалле для таких приложений, как абонентский спутниковый терминал, приходится принимать во внимание множество факторов, важнейшими из которых являются компактность и его производительность, причем эти факторы, как правило, находятся в некотором противоречии друг с другом. И тем не менее, приемлемое решение проблемы высокой производительности при использовании процессорного ядра малой разрядности вполне можно найти, особенно для задач передачи данных, не требующих значительного объема вычислений [4].

Для абонентского спутникового терминала предлагается реализация СнК на базе 16-разрядного процессорного ядра с использованием 64-разрядной системной шины, что позволит объединить достоинства 16-разрядных процессорных систем и многоразрядных шинных структур [1].

Основным достоинством выбранного 16-разрядного процессорного ядра является компактность исполняемого кода, и как следствие, невысокие требования к объёму памяти, необходимой для исполнения программ. Это важное свойство позволяет создавать компактные однокристалльные системы со встроенной статической памятью и с небольшим количеством внешних выводов, необходимых только для подключения внешней периферии.

Для достижения нужных показателей производительности, помимо оптимизации структуры процессорного ядра, в состав СнК включена 64-разрядная шина, с более высокой (в несколько раз по

сравнению с 16-разрядной шиной) пропускной способностью. В сочетании с оптимизированным под эту шину контроллером прямого доступа к памяти, обеспечивающим обмены данными 64-разрядными словами, получаем существенный прирост в общей производительности системы [2].

Дополнительным важным способом повышения эффективности вычислительной системы является специализация путём включения в её состав аппаратных вычислительных или управляющих блоков. Такого рода блоки можно рассматривать как специализированные сопроцессоры, которые могут решать свою задачу параллельно основному процессору под его контролем и управлением [6]. Такой подход даёт выигрыш как в плане быстродействия, так и в плане энергопотребления, поскольку существенно снижает нагрузку на основной процессор и разделяет общую задачу на несколько параллельных вычислительных процессов. Этот фактор является важным для портативных приложений с батарейным электропитанием.

Таким образом, в результате всех предпринятых мер по повышению эффективности (оптимизация структуры процессорного ядра, расширение разрядности системной шины, оптимизация разрядности контроллера прямого доступа в память, использование в составе СнК специализированных аппаратных блоков) удаётся получить компактную систему на кристалле с высокой производительностью и оптимальным энергопотреблением, ориентированную для применения в составе абонентских спутниковых терминалов системы «Гонец-Д1М» [5].

V. СОСТАВ СнК ДЛЯ АБОНЕНТСКОГО СПУТНИКОВОГО ТЕРМИНАЛА

С целью оптимизации габаритно-весовых характеристик абонентского спутникового терминала в качестве основы при разработке терминала предлагается использовать СнК, в состав которой, помимо процессорного ядра, должен входить спутниковый модем, обеспечивающий обмен информацией между абонентским терминалом и космическим аппаратом, интерфейс Ethernet для связи с внешним миром, а также набор интерфейсов, необходимых для обмена информацией с другими потребителями информации.

СнК построена на основе 16-разрядного процессорного ядра, полностью совместимого по архитектуре и системе команд с микроконтроллером i80186, предназначенного для управления модемом, а также для обмена данными с внешними источниками и потребителями информации [9]. Методика тестирования процессорного ядра подобного типа рассмотрена в работе [7].

В состав СнК входят следующие основные устройства и интерфейсы:

- 16-разрядное процессорное ядро, совместимое по архитектуре и системе команд с микроконтроллером i80186.
- Встроенное масочное ПЗУ с начальным загрузчиком объёмом 1 Кбайт.
- Встроенное статическое ОЗУ объёмом 512 Кбайт.
- Контроллер прерываний с 36 линиями прерываний от периферийных устройств.
- Контроллер прямого доступа в память – 16 каналов.
- Спутниковый модем.
- Контроллер интерфейса Ethernet 10/100/1000 Мбит/сек (MAC-уровень).
- Два последовательных асинхронных порта UART.
- Два последовательных синхронных порта SPI.
- Последовательный синхронный порт I2C.
- Три универсальных параллельных 16-разрядных порта ввода вывода.
- Три программируемых 16-разрядных таймера.
- Сторожевой таймер.
- Служба реального времени.
- Механизм управления энергопотреблением.

Структурная схема предлагаемой к реализации СнК для абонентского спутникового терминала системы «Гонец-Д1М» приведена на рис. 1.

VI. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СнК

В качестве одной из важнейших характеристик процессорного ядра архитектуры i80186 является компактный программный код. Благодаря этому качеству процессорного ядра существенно снижаются требования к объёму оперативной памяти, необходимой для исполнения этого кода. Наличие в составе СнК 0.5 Мбайта статического ОЗУ полностью покрывают потребности в оперативной памяти для исполнения программ и хранения данных и освобождают от необходимости иметь в составе системы внешнюю динамическую память. Следует отметить, что максимальный объём встроенной статической памяти может быть, при необходимости, доведён до 1 Мбайта [10].

Другой важной характеристикой этого процессорного ядра является высокая тактовая частота, которая достигается за счёт оптимизированной конвейерной архитектуры ядра (до 7 уровней, включая предвыборку команд). Применение глубокой конвейерной обработки позволяет уменьшить число тактов, затрачиваемых на обработку одной команды (для большинства регистровых операций это число составляет один такт системной частоты, для операций, в которых один из операндов располагается в памяти, на выполнение операции затрачивается два или три такта системной частоты).

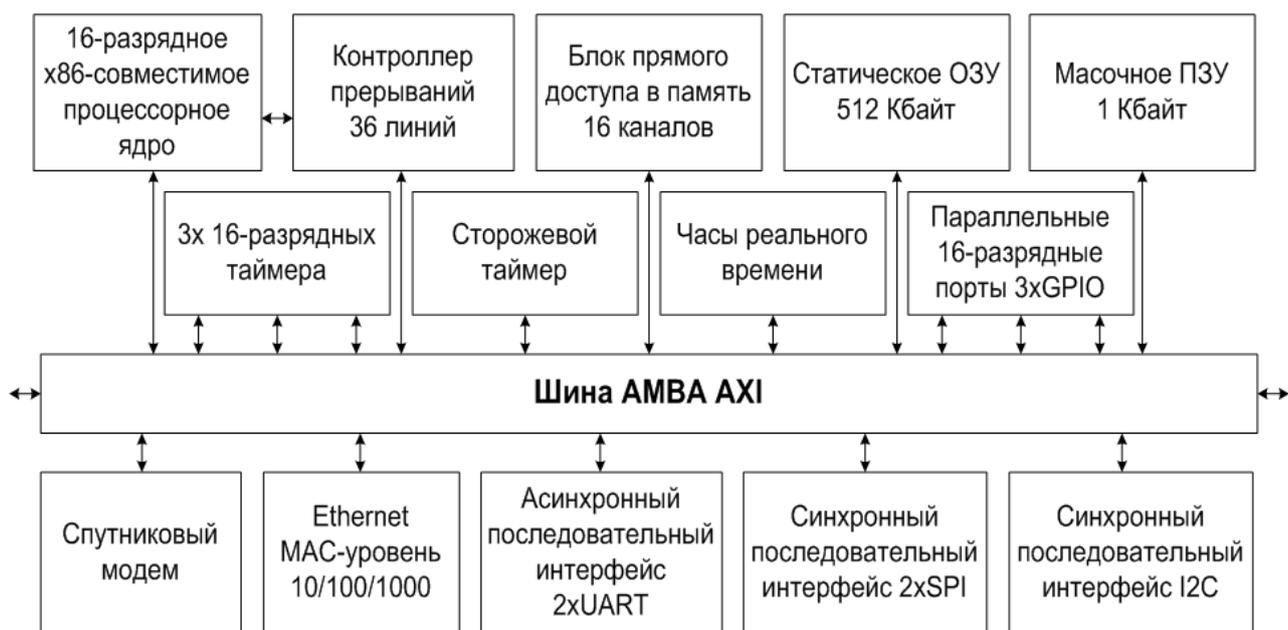


Рис. 1. Структурная схема СнК

Стоит отметить такое существенное качество СнК, влияющее на энергопотребление абонентского терминала, как наличие в составе СнК механизма управления энергопотреблением. Используя этот механизм, можно, в зависимости от типа выполняемой задачи и от интенсивности вычислений и потока данных, выбирать тактовую частоту, на которой должно работать процессорное ядро и задействованные устройства. Можно отключать тактовую частоту от устройств, которые не задействованы в текущей задаче, или не задействованы в задаче в текущий момент времени.

Если в процессе выполнения задачи возникает пауза, то можно перевести систему в режим пониженного энергопотребления путём снижения тактовой частоты до минимально возможной. В крайнем случае есть возможность переключить систему в «режим сна», когда отключены практически все устройства, кроме часов реального времени. В этом случае выход из «режима сна» производится или по будильнику, который отслеживает заданное абсолютное время, или по таймеру, который отсчитывает заданный интервал, или по внешнему сигналу, который сигнализирует о том, что пора «проснуться» и приниматься за работу.

Кроме прочих особенностей и достоинств СнК, построенной на процессорном ядре с микроконтроллерной архитектурой i80186, нельзя обойти стороной и тот факт, что микропроцессоры этой архитектуры одними из первых появились на Советском, а потом и на Российском рынке микроэлектроники и быстро завоевали популярность среди разработчиков электронной техники благодаря своей универсальности и простоте применения, а также благодаря достаточно высокой для того времени вычислительной мощности. За время, прошедшее с тех

пор, был наработан уникальный опыт использования микроконтроллеров архитектуры i80186, а также было наработано большое количество прикладного и системного программного обеспечения, включая популярные компиляторы, отладчики, симуляторы и операционные системы [3].

VII. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Комплекс наземных средств потребителей многофункциональной системы персональной спутниковой связи «Гонец» представляет собой ряд модификаций абонентских терминалов, которые реализуют различные виды услуг связи, отличаются аппаратным составом, вариантами программного обеспечения, режимами работы, конструктивным исполнением и условиями эксплуатации.

Реализация на новом современном уровне программного-аппаратного комплекса «Гонец» и абонентского терминала подвижной спутниковой связи «Гонец» позволит работать как с существующей спутниковой группировкой «Гонец-Д1М», так и с новой спутниковой группировкой «Гонец-М1» (с 2025 года). Использование современных подходов при разработке аппаратуры обеспечит максимально эффективную эксплуатацию низкоорбитальных спутниковых группировок «Гонец-Д1М» и «Гонец-М1». Новый комплекс аппаратных средств позволит повысить рентабельность данных группировок; выйти на мировой рынок спутниковых услуг связи; обеспечить передачу данных для целей удалённого мониторинга объектов и обмена информацией в любой точке России, быть глобальной связной средой для системы ГЛОНАСС в части передачи координатно-временной информации из регионов, не охваченных наземными системами связи; стать базовым инфраструктурным элементом экосистемы цифровой экономики

Российской Федерации, наряду с традиционными наземными системами связи.

Использование при разработке аппаратных средств системы спутниковой связи «Гонец» современной элементной базы, оптимизированной под конкретные цели и задачи, позволит создать аппаратуру с максимально высокими технико-экономическими и эксплуатационными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Архипкин В.Я., Дябин М.И., Ерохин В.В., Леохин Ю.Л. Построение высокопроизводительной SoC на основе 16-разрядного процессорного ядра // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). 2020. Вып. 4. С. 134-139.
- [2] Ерохин В.В. Архитектура процессоров большой разрядности: проблемы и решения // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). 2020. Вып. 3. С. 158-164.
- [3] Ерохин В.В. Элементная база систем на кристалле: процессоры // Нано- и микросистемная техника. 2005. № 1. С. 35-44.
- [4] Вишнеков А.В., Ерохин В.В., Иванова Е.М. Выбор IP-блока при разработке системы на кристалле // Нано- и микросистемная техника. 2016. Т. 18. № 12. С. 773-782.
- [5] Беляев А.А., Гаврилов В.С., Кузнецов Д.А., Петричкович Я.Я., Солохина Т.В., Фролов Д.С., Функнер А.А. Эволюция многоядерных гетерогенных вычислительных систем в области обработки видеоданных // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем – 2014. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемповского. М.: ИППМ РАН, 2014. Часть 2. С. 129-134.
- [6] Ерохин В.В., Мальцев П.П. Самотестирование сложных функциональных блоков // Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем – 2005. Сборник научных трудов / под общ. ред. А.Л.Стемповского. М.:ИППМ РАН, 2005. С. 500-507.
- [7] Дябин М.И., Решетников А.В., Саксонов Е.А. Методика тестирования процессорного ядра системы на кристалле с x86-совместимым микропроцессором // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). 2020. Выпуск 3. С. 172-179.
- [8] Александр Бабин, Александр Минов. Спутниковая связь для Интернета вещей // Connect. 2017. № 5-6. С. 112-116.
- [9] Intel Corporation. 80C186EC/80C188EC microprocessor user's manual. Intel Corp., 1995. 515 p.
- [10] N.V. Bahadure. Microprocessors: The 8086/8088, 80186/80286, 80386/80486 and The Pentium Family. PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi, 2010.

Designing of a System on Chip for a Satellite Subscriber Terminal of the «Gonets-D1M» System

V.Ya. Arkhipkin¹, M.I. Dyabin², V.V. Erokhin³, M.V. Sheblaev⁴

¹“Accord” Ltd., director general, Moscow, info@akkordsystems.ru

²“Kaskad” Ltd., leading engineer, Moscow, dyabin@mail.ru

³JSC Progress MRI, chief of the communication equipment design division, Moscow, vladimir.v.erokhin@gmail.com

⁴Lomonosov Moscow State University, Faculty of Space research, assistant, Moscow, sheblaev@cosmos.msu.ru

Abstract — This paper describes the system-on-a-chip designed for use as the basis while development of satellite subscriber terminal of the system “Gonets-D1M”. The necessity and relevance of development of modern electronic components for satellite subscriber terminals is substantiated. Some features of the SoC, intended for building a satellite subscriber terminal, are discussed. The devices and interfaces are listed which are included into this SoC. Block diagram of the SoC is given. Detailed analysis of the SoC’s characteristics is done. The main requirements for the modem of the satellite subscriber terminal of the system “Gonets-D1M” are provided in the paper. The authors outline the prospects for advancing, primary purpose and scope of application of the Russian multifunctional system of personal satellite communication “Gonets”.

Keywords — satellite subscriber terminal, low-orbit satellite constellation, satellite modem, processor core, system on a chip.

REFERENCES

- [1] Arkhipkin V.Ya., Dyabin M.I., Erokhin V.V., Leokhin Yu.L. Designing a high-performance SoC based on a 16-bit processor core // Problems of Perspective Micro- and Nanoelectronic Systems Development - 2020. Issue 4. P. 134-139. doi:10.31114/2078-7707-2020-4-134-139
- [2] Erokhin V.V. Multi-bit processors architectures: problems and solutions // Problems of Perspective Micro- and Nanoelectronic Systems Development - 2020. Issue 3. P. 158-164. doi:10.31114/2078-7707-2020-3-158-164
- [3] Erokhin V.V. Elementnaya baza sistem na kristalle: protsessory (Electronic components of systems on chips: processors) // Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2005. № 1. S. 35-44.

- [4] Vishenkov A.V., Erokhin V.V., Ivanova E.M. Vybor IP-bloka pri razrabotke sistemy na kristalle (Selecting an IP-block while development of a system on chip) // Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2016. T. 18. № 12. S. 773-782.
- [5] Belyaev A.A., Gavrilov V.S., Kuznetsov D.A., Petrichkovich Ya.Ya., Solokhina T.V., Frolov D.S., Funkner A.A. Evolution in the area of multicore heterogeneous video data processing systems // Problems of Perspective Micro- and Nanoelectronic Systems Development - 2014. Proceedings / edited by A. Stempkovsky, Moscow, IPPM RAS, 2014. Part 2. P. 129-134.
- [6] Erokhin V.V., Maltsev P.P. Self-testing of complex functional blocks // Problems of Perspective Microelectronic Systems Development - 2005. Proceedings / edited by A. Stempkovsky, Moscow, IPPM RAS, 2005. P. 500-507.
- [7] Dyabin M.I., Reshetnikov A.V., Saksonov E.A. A methodology for testing the microprocessor core of a system on chip with a x86-compatible microprocessor // Problems of Perspective Micro- and Nanoelectronic Systems Development - 2020. Issue 3. P. 172-179. doi:10.31114/2078-7707-2020-3-172-179
- [8] Alexander Babin, Alexander Minov. Sputnikovaya svyaz dlya Interneta veshchey (Satellite communication for the Internet of things) // Connect. 2017. № 5-6. S. 112-116.
- [9] Intel Corporation. 80C186EC/80C188EC microprocessor user's manual. Intel Corp., 1995. 515 p.
- [10] Bahadure N.B. Microprocessors: The 8086/8088, 80186/80286, 80386/80486 and The Pentium Family. PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi, 2010.