

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ОЦЕНКА РЕФЕРАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ

канд. техн. наук, доцент,
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

Н.В. Поварёнкин
инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ
МИКРОПРОЦЕССОРОВ

по дисциплине: СХЕМОТЕХНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА В
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

РЕФЕРАТ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № 2811

подпись, дата

И.О. Казмерковский
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2021

Предисловие

В данной работе проводится исследование о состоянии микропроцессорной промышленности Российской Федерации (РФ) на начало две тысячи двадцать первого года.

В первой части работы будет рассмотрено зарождение микроэлектроники на территории СССР, приемником которого является РФ, дальнейшее развитие до окончания существования государства. Также будет сказано о состоянии микропроцессорной промышленности в период формирования нового государства на территории СССР. Этот момент рассматривается для получения более полной информации о причинах и предпосылках, которые привели микроэлектронную промышленность на сегодняшний уровень.

Во второй части исследования рассматривается продукция производителей, которые попадают под постановление правительства РФ №719 от 17 июля 2015 года «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации», их характеристики, технический процесс.

В третьей части исследования проводится сравнительный анализ процессоров российского производства с ведущими зарубежными аналогами, который включает в себя технические характеристики, а также показатели, характеризующие продажи данной продукции. Показатели, характеризующие продажи, важно рассмотреть для более глубокого понимания перспектив роста доли отечественных образцов микроэлектронной промышленности на рынке полупроводников. Данный анализ поможет сделать заключение.

В заключительной части, проведя исследование, высказывается мнение о проектах, стимулирующих рост отечественной промышленности и развитие отрасли, возможную конкуренцию с признанными мировыми лидерами, выход на новые рынки сбыта.

Содержание

1. История развития микропроцессорной промышленности в СССР.....	4
2. Современные образцы отечественной микропроцессорной техники	
2.1 Продукция МЦСТ	
2.1.1 Эльбрус-1С+.....	7
2.1.2 Эльбрус-8С.....	10
2.1.3 Эльбрус-8СВ.....	13
2.1.4 Эльбрус-16С.....	16
2.1.5 Эльбрус-2С3.....	18
2.1.6 Эльбрус-12С.....	20
2.2 Процессоры «Baikal Electronics»	
2.2.1 Байкал Т-1.....	22
2.2.2 Байкал-М, Байкал-М/2, Байкал-М/2+.....	26
2.2.3 Байкал-S.....	30
3. Сравнение с зарубежными аналогами. Сравнение технических характеристик.....	31
4. Перспективы для российских процессоров	
4.1 Стратегия развития электронной промышленности до 2030 года...37	
4.2 Соглашение Huawei и РТИ.....	39
4.3 Проект «Макро ЕМС» в промышленной зоне Обухово.....	40
5. Библиографический список.....	42

История развития микропроцессорной промышленности в СССР

В 1950 году член Академии наук Украины и профессор Киевского института электротехники Сергей Александрович Лебедев создал первую в Европе электронную вычислительную машину, в последствие получившую название « Большая электронная счётная машина» (БЭСМ). Главным открытием для научного сообщества являлось практическое применение принципа последовательной передачи кода. Конструкция имела примерно 6 тысяч электронных ламп, при этом потребляемая мощность была около пятнадцать киловатт в час. Такое «чудо техники» могло похвастаться диапазоном рабочих чисел от девяти до ста девяти. Имело возможность выполнять 9 арифметических операций, 8 операций по передачи кодов, 6 логических операций, 9 операций управления и общим объёмом памяти на одну тысячу двадцать четыре разрядных слова. Хотя производительность составляла всего лишь три тысячи операций с плавающей запятой в секунду. Однако в период зарождения электронной промышленности такие показатели считались прорывными, поэтому в конце 1951 года БЭСМ начала свою работу.

Советская наука не стояла на месте. После создания БЭСМ, главного создателя данного вычислительного комплекса, Сергей Лебедев, был переведён в Москву, где продолжил работу по усовершенствованию и адаптации для массового производства своего изобретения в институте точной механики и вычислительной техники. В результате плодотворной работы в столице было представлено следующее поколение в лице БЭСМ-2 в 1958 году. Обновлённое « чудо техники» имело четыре тысячи ламп, пять тысяч полупроводниковых диодов, двести тысяч ферритовых сердечников. Доработки позволили увеличить производительность до двадцати тысяч операций с плавающей запятой в секунду и оперативную память до двух тысяч двадцати четырёх разрядных

слов. БЭСМ-2 стала первой серийной электронной вычислительной машиной, выпускаемой в СССР серийно. С 1958 года по 1962 год под наблюдением института точной механики и вычислительной техники, который возглавлял Сергей Александрович Лебедев, и коллективом завода имени Володарского было выпущено 67 экземпляров. По неофициальным данным на БЭСМ-2 была рассчитана траектория полёта беспилотной советской ракеты на Луну.

В 1962 году центральный комитет коммунистической партии советского союза принял решение об организации научного центра микроэлектроники, который расположился под Москвой, в городе Зеленограде. В 1963 году в Зеленограде основан центр микроэлектроники «Ангстрем», который являлся одним из основных производителей интегральных схем в СССР до конца существования государства. В стенах данного предприятия в одна тысяча девятьсот семьдесят четвёртом году был создан первый советский микропроцессор БИС-532, позднее переименованный в БИС-587. Процессор 587 серии обеспечивал построения возможность построения: простейших микроконтроллеров, многопроцессорных и многомашинных систем – на его базе. На одиннадцать лет позднее «Ангстрем» представил персональный компьютер «Электроника – 85», который являлся первым в мире шестнадцатиразрядным персональным компьютером, который имел встроенный язык программирования «BASIC», двадцать шесть ячеек памяти, возможность одновременного хранения до десяти программ при потребляемой мощности две сотых ватта в час.

В одна тысяча девятьсот восьмидесятом году институт точной механики и вычислительной техники представил многопроцессорный вычислительный комплекс «Эльбрус-1», построенный по нормам транзисторно-транзисторной логики и состоящий из биполярных транзисторов. Он обладал производительностью двенадцать миллионов операций с плавающей запятой в секунду и оперативной памятью размерами

шестьдесят четыре мегабайта. Основными потребителями данного комплекса были военные системы противоракетной обороны.

Следующей модификацией многопроцессорного вычислительного комплекса стал «Эльбрус-*i*2», который был представлен в одна тысяча девятьсот восемьдесят пятом году. Его производительность достигала ста двадцати пяти миллионов операций с плавающей запятой в секунду, при объёме оперативной памяти сто сорок четыре мегабайта.

После распада СССР случился промышленный крах, в результате которого многие ведущие предприятия обанкротились и перестали существовать. В одна тысяча девятьсот девяносто седьмом году государством был создан холдинг «Росэлектроника», который занялся сбором остатков микропроцессорной промышленности. В данный момент в холдинг входят сто двадцать три предприятия. Результатом банкротства многих ведущих предприятий стало снижение отечественной электроники на мировом рынке с двадцати шести процентов в одна тысяча девятьсот восьмидесятом году до 8 десятых процента в две тысячи восемнадцатом году.

Современные образцы отечественной микропроцессорной техники

Продукция МЦСТ

Эльбрус-1С+

В начале десятых годов АО «МЦСТ» начало разработку одноядерного процессора, обладающего высокой производительностью и низким энергопотреблением. Итог разработок был представлен публике в две тысячи пятнадцатом году и получил название «Эльбрус-1С+». Также данный процессор может похвастаться встроенным ускорителем 3D-графики, поддерживающим кроссплатформенный интерфейс прикладного программирования для визуализации 2D и 3D векторной графики версии OpenGL 2.1 и платформы для написания программ версии OpenGL 1.2. Процессор имеет оригинальную архитектуру «Эльбрус», что позволяет ему обеспечивать высокую производительность в математических расчетах, криптографии, цифровой обработке сигналов. В тоже время он может оказывать аппаратную поддержку защищённых вычислений, выводить изображения с разрешением Full HD на два монитора и с разрешением Quad HD на один монитор. На рисунке 1 представлена общая организация процессора «Эльбрус-1С+».

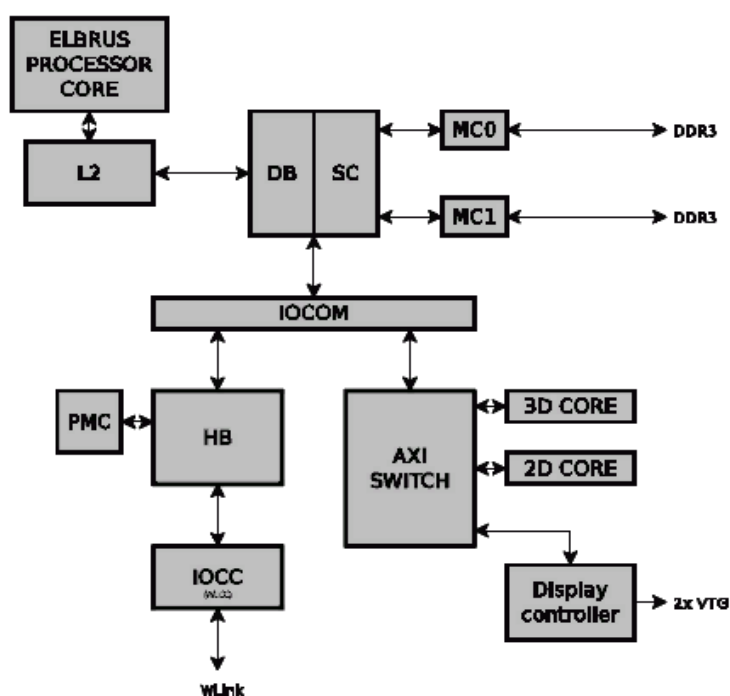


Рисунок 1. Общая организация процессора «Эльбрус-1С+».

Рассмотрев преимущества, о которых нам рассказывает производитель, немного остановимся на характеристиках процессора. Характеристики процессора делятся на две части: технические и технологические. К техническим характеристикам АО «МЦСТ» относят : архитектуру, количество ядер, тактовую частоту, пиковую производительность, кэш-память, оперативную память, видеосистему, периферию. В разделе о технологических характеристиках производитель указывает: топологию, корпус, условия эксплуатации, электропитание. Все характеристики собраны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Технические характеристики процессора «Эльбрус-1С+»

Архитектура	Эльбрус, версия 4
Количество ядер	1 ядро МЦСТ «Эльбрус» для общего назначения, 1 ядро МЦСТ «MGA2» с ускорителем 2D-графики 1 ядро Vivante «GC2500» с ускорителем 3D-графики
Тактовая частота	1000 МГц (для микросхемы 1891BM11АЯ) 800 МГц (для микросхемы 1891BM11БЯ) 600 МГц (для микросхемы 1891BM11ВЯ) 800 МГц (для ядра GC2500)
Пиковая производительность	25 операций в такт в каждом ядре (8 целочисленных, 12 вещественных). 24 GFLOPS одинарной точности, 12 GPLOPS двойной точности (без учёта производительности видеоядра)
Кэш-память	L1: 64 Кбайт данные + 128 Кбайт команды L2: 2 Мбайт
Оперативная память	2 канала DDR3-1600 registered ECC, до 25,6 Гбайт/с 32 Гбайт максимальный объём
Видеосистема	2 независимых канала вывода (2xHDMI, 1xLVSD, 1xVGA), 1920x1080 на два независимых монитора, 2560x1440 на один монитор
Периферия	1 канал ввода-вывода, до 16 Гбайт/с

	совместимый контроллер – КПИ-2
--	--------------------------------

Таблица 2. Технологические параметры процессора «Эльбрус-1С+»

Топология	375 млн транзисторов 40 нм тех процесс, 122 мм ² площадь кристалла (9,54x12,78 мм)
Корпус	34,6x34,6x3 мм 1156 контактов HFСВGA
Электропитание	0,75В, 1,0В, 1,1В, 1,2В, 1,5В, 1,8В 10 Вт (для микросхемы 1891ВМ11АЯ) 8 Вт (для микросхемы 1891ВМ11БЯ) 6 Вт (для микросхемы 1891ВМ11ВЯ) реализована технология энергосбережения
Условия эксплуатации	-60...+90

Данный проект является первым, который был реализован в России. По заявлению производителя, главным его плюсом является малое электропотребление. На сайте производителя имеется информация о том, что АО «МЦСТ» видит своими сегментами рынка: персональные компьютеры, промышленная автоматика, встраиваемые системы.

Одновременно с процессором «Эльбрус-1С+» был представлен другой продукт из линейки процессоров четвёртого поколения, получивший название «Эльбрус-8С». Данный экземпляр с микросхемой центрального процессора 1891ВМ028–і высокопроизводительный вычислитель серверного класса. АО «МЦСТ» относит к плюсам данного процессора высокую производительность с улучшенной архитектурой «Эльбрус». По заявлению производителя данный экземпляр в отличие от «Эльбрус-1С+» спроектирован по техническому процессу двадцать восемь нанометров, что позволяет ему выполнять двадцать пять операций за один такт или двести пятьдесят миллиардов операций с плавающей запятой в секунду. Также производитель отмечает наличие отдельного стека для вызовов, что даёт преимущества в информационной безопасности, и исполнение двоичных кодов в системе программ Intel x86 и x86-64 с помощью динамической ретрансляции без перекомпиляции программ. Внешний вид процессора «Эльбрус-8С» представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. Вид сверху на микропроцессор «Эльбрус-8С».

Прочитав о преимуществах, которыми производитель убеждает приобрести данный товар, обратимся к техническим и технологическим параметрам процессора, которые собраны в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Технические характеристики процессора «Эльбрус-8С»

Архитектура	Эльбрус, версия 4
Масштабируемость	8 ядер в процессоре, 4 процессора в модуле (8 Гбайт/с попарные связи)
Тактовая частота	1300 МГц (для микросхемы 1891ВМ02А8) 1000 МГц (для микросхемы 1891ВМ02Б8)
Пиковая производительность	25 операций в такт в каждом ядре (8 целочисленных, 12 вещественных). 250 GFLOPS одинарной точности, 125 GPLOPS двойной точности
Кэш-память	L1: 64 Кбайт данные + 128 Кбайт команды в каждом ядре L2: 512 Кбайт в каждом ядре, 4 Мбайт суммарно L3: 16 Мбайт в процессоре
Оперативная память	4 канала DDR3-1600 registered ECC, до 51,2 Гбайт/с 64 Гбайт на процессор, 1 Тбайт адресное пространство машины
Периферия	1 канал ввода-вывода, до 8 Гбайт/с в каждую сторону совместимый контроллер – КПИ-2

Таблица 4. Технологические параметры процессора «Эльбрус-8С»

Топология	2,3 млрд транзисторов 28 нм тех процесс, 322 мм ² площадь кристалла
Корпус	59,5x43,0x4,6 мм, 32,0 г, 2028 контактов FCBGA
Электропитание	0,9В, 1,0В, 1,15В, 1,5В, 1,8В 80 Вт (для микросхемы 1891ВМ02А8) 60 Вт (для микросхемы 1891ВМ02Б8)
Условия эксплуатации	-45...+100

По сравнению с процессором четвертого поколения «Эльбрус-1С+» в данном экземпляре производительность увеличена в десять раз, что можно

объяснить более сложный техническим процессом, которое позволило увеличить количество транзисторов на кристалле. Также выделяется значительное увеличение кэш-памяти и увеличение оперативной памяти в два раза. При этом, глядя на технологические характеристики, можно заметить, что «Эльбрус-8С» больше по размерам, чем «Эльбрус-1С+» и имеет более узкие температурные условия эксплуатации. Технические характеристики данного образца дают понимание о применении процессора при постройке серверов. Данную мысль подтверждает производитель, который ориентирует данный продукт на сегмент устройств, требовательных к скорости обработки и передачи информации: серверы, рабочие станции, бортовые вычислители.

Эльбрус-8СВ

В 2014 году министерство промышленности Российской Федерации объявило аукцион выделение гранта для разработки нового микропроцессора. Кроме АО «МЦСТ» заявки никто не подал, таким образом, определение победителя оказалось несложной задачей. Сумма гранта составила шестьсот двадцать один миллион рублей. В результате заказа министерства промышленности, в две тысячи восемнадцатом году был представлен на испытания и технический контроль новый процессор пятого поколения «Эльбрус-8СВ». Главной частью данного экземпляра является микросхема 1891ВМ12Я, которая представляет вычислитель серверного класса с усовершенствованным набором векторных команд. АО «МЦСТ» отмечает увеличение производительности по сравнению с процессором предыдущего поколения «Эльбрус-8С», которая составляет пятьсот семьдесят шесть миллиардов операций с плавающей запятой в секунду. Остальные плюсы, отмеченные производителем, присущи процессорам четвертого поколения «Эльбрус-1С+» и «Эльбрус-8С». Процессор пятого поколения «Эльбрус-8СВ» представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Вид сверху процессора «Эльбрус-8СВ».

Рассмотрим технические и технологические характеристики данного продукта, которые собраны в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Технические характеристики процессора «Эльбрус-8СВ»

Архитектура	Эльбрус, версия 5
Масштабируемость	8 ядер в процессоре, 4 процессора в модуле (8 Гбайт/с попарные связи)
Тактовая частота	1500 МГц (для микросхемы 1891ВМ12АЯ)
Пиковая производительность	50 операций в такт в каждом ядре (8 целочисленных, 12 вещественных). 576 GFLOPS одинарной точности, 288 GPLOPS двойной точности
Кэш-память	L1: 64 Кбайт данные + 128 Кбайт команды в каждом ядре L2: 512 Кбайт в каждом ядре, 4 Мбайт суммарно L3: 16 Мбайт в процессоре
Оперативная память	4 канала DDR4-2400 registered ECC, до 68,3 Гбайт/с 128 Гбайт на процессор, 1 Тбайт адресное пространство машины
Периферия	1 канал ввода-вывода, до 8 Гбайт/с в каждую сторону совместимый контроллер – КПИ-2

Таблица 6. Технологические параметры процессора «Эльбрус-8СВ»

Топология	3,5 млрд транзисторов 28 нм тех процесс, 350 мм ² площадь кристалла
Корпус	59,5x43,0x4,6 мм, 32,0 г, 2028 контактов FCBGA
Электропитание	0,9В, 1,0В, 1,15В, 1,5В, 1,8В 90 Вт (для микросхемы 1891ВМ12АЯ)
Условия эксплуатации	-60...+90

Сравнение технологических характеристик с серверным процессором предыдущего поколения «Эльбрус-8С» показывает увеличение пиковой

производительности в два раза, увеличение оперативной памяти за счёт перехода на новый стандарт DDR4. Также за счёт увеличения площади кристалла удалось увеличить количество транзисторов. Остальные характеристики остались такими же, как и у предшественника, следовательно, процессор предназначен для постройки многопроцессорных серверов и рабочих станций, а также для бортовых вычислителей. Изготавливать данные процессоры будет завод тайваньской фабрики TSMC.

Эльбрус-16С

В две тысячи двадцатом году на выставке Микроэлектроника-2020, которая проходила в Ялте, был представлен инженерный образец процессора шестого поколения «Эльбрус-16С». В отличие от процессора предыдущего поколения, который незначительно отличался от своего предшественника, данный продукт имеет много фундаментальных различий. Основное различие заключается в техническом процессе, так как новый продукт будет производиться по технологиям шестнадцати нанометров. За счёт данного технического решения количество транзисторов составит двенадцать миллиардов, что отразится на увеличении оперативной памяти, размер которой составит до шестнадцати терабайт. Разработчикам из «МЦСТ» удалось добиться аппаратной поддержки виртуализации, в предыдущих версиях была доступна только контейнерная. «Эльбрус-16С» - первый процессор в линейке, который не требует применения южного, всё собрано на кристалле, в отличие от предыдущих моделей. Внешний вид инженерного образца процессора «Эльбрус-16С» представлен на рисунке 4.



Рисунок 4. Внешний вид инженерного образца процессора «Эльбрус-16С».

Технических характеристик не так много, но рассмотрим имеющиеся. Процессор «Эльбрус-16С» содержит 16 вычислительных ядер с общей

производительность в полтора терафлопс в режиме одинарной точности и семьсот пятьдесят гигафлопс в режиме двойной точности, восемь каналов памяти DDR4-3200 ECC, встроенные контроллеры Ethernet 10 и 2,5 Гбит/с, 32 линии PCI-Express 3.0, 4 канала SATA 3.0. Такие данные впечатляют.

На презентации производитель акцентировал внимание на том, что по многим пунктам этот процессор первый в России. В действительности, так оно и есть, таким образом можно констатировать новый виток развития микропроцессорной промышленности в Российской Федерации. Данный продукт является серверным процессором, а значит будет выполнять задачи, где требуется скорость обработки и передачи информации. Таким образом, можно сделать вывод, что АО «МЦСТ» имеет стабильный спрос на процессоры в сегментах серверов, рабочих станций и бортового оборудования, который обуславливается наличием санкций от Европейского Союза и Соединенных Штатов Америки. Сейчас данный образец проходит испытания.

Эльбрус-2С3

На презентации Elbrus Tech Day АО «МЦСТ» анонсировала один из своих будущих проектов процессор «Эльбрус-2С3». На данный момент

проект находится в стадии разработки, тем не менее, был показан рендер дизайн продукта, а также испытательный образец, который приведён на рисунке 5.

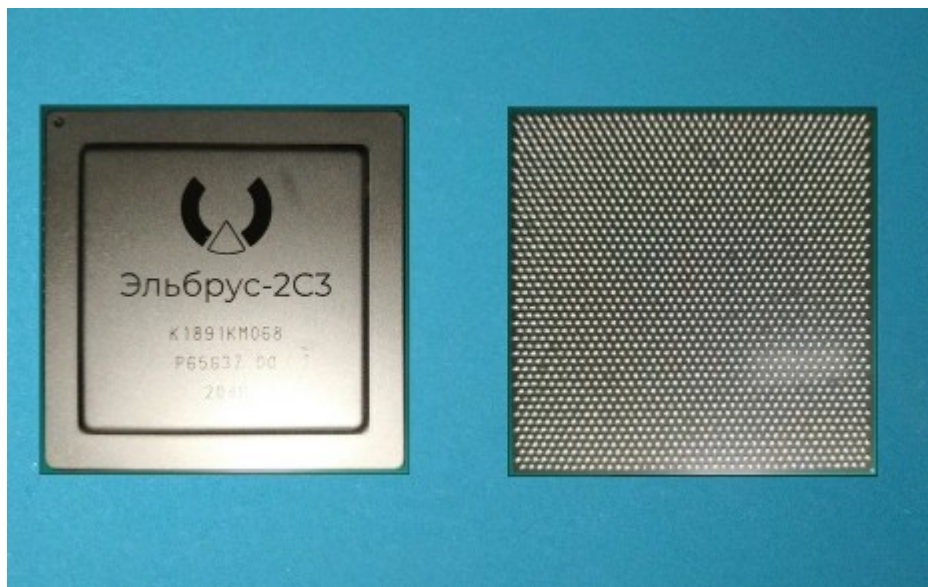


Рисунок 5. Процессор «Эльбрус-2С3» с подложкой FCBGA 1903.

Рассмотрим технические характеристики, которые нам представил производитель. Данный продукт является процессором шестого поколения, а значит произведён по технологии шестнадцати нанометров и имеет систему на кристалле (не нужен южный мост). У процессора имеются два ядра с штатной частотой работы около двух гигагерц, 16 линий PCI-Express 3.0, оперативная память будет иметь два канала памяти DDR4-3200 с пропускной способностью до пятидесяти гигабайт в секунду. Большой интерес представляют показатели пиковой производительности, которые должны составить сто девяносто два гигафлопса в режиме одинарной точности и девяносто шесть гигафлопсов в режиме двойной точности. Процессор будет иметь встроенный видеочип с 3D ускорением и поддерживать разрешения «FullHD», «2,5k», «4k». Всё это по заверению производителя можно вывести на 3 независимых экрана, что обеспечивают три независимых дисплейных контроллера, 4 видеовыхода: 1xRGB, 2xHDMI (+звук), 1xLVDS, также у процессора имеется VGA-совместимость. При этом потребляемая мощность должна составлять около десяти ватт в час, что не требует системы охлаждения. Разработка в данном направлении показывает,

что АО «МЦСТ» пытается активно развивать новые направления бизнеса и в частности хочет производить продукцию для массовой электроники: ноутбуки, планшеты, персональные компьютеры.

Эльбрус-12С

На презентации Elbrus Tech Day АО «МЦСТ» анонсировала один из

своих будущих проектов процессор «Эльбрус-12С». На данный момент проект находится в стадии разработки, а первые инженерные образцы ожидаются во втором квартале текущего года. На данный момент компания показала только рендер дизайн, который представлен на рисунке 6.



Рисунок 6. Рендер процессора «Эльбрус-12С».

Недавно в сеть утекли возможные технические и технологические характеристики будущего продукта, которые собраны в таблицах 7 и 8.

Таблица 7. Технические характеристики процессора «Эльбрус-12С»

Архитектура	Эльбрус, версия 6
Количество ядер	12
Тактовая частота	2000 МГц
Пиковая производительность	>1 TFLOPS
Кэш-память	L1: 64 Кбайт данные + 128 Кбайт команды в каждом ядре L2: 1 Мбайт суммарно L3: 24 Мбайт в процессоре
Оперативная память	2 канала DDR4-2400 registered ECC, до 72 Гбайт/с
Периферия	PCLE 3.0/IPCC, PCLE 3.0/WLCC, SATA 3.0, USB 3.0, Ethernet

Таблица 8. Технологические параметры процессора «Эльбрус-12С»

Корпус	44x53мм
Электропитание	0,8В (ядро) 1,2В (память)

Производиться данный процессор будет по технологии шестнадцати нанометров. Рассмотрев технические характеристики данного продукта, можно сделать заключение, что данный продукт предназначен для массового сегмента электроники с уклоном на видеоигры, таким образом «Эльбрус-12С» поможет АО «МЦСТ» диверсифицировать линейку и не останавливать внимание только на серверном сегменте, где у компании на российском рынке высокие позиции.

Процессоры «Baikal Electronics»

Байкал Т-1

В две тысячи пятнадцатом году АО «Байкал Электроникс» представило

процессор «Байкал-Т», который был разработан при финансовой поддержке министерства промышленности. Центральной частью данного процессора является микросхема BE-T1000, которая производится по двадцати восьми миллиметровому технологическому процессу. Потребляемая мощность у данного продукта не превышает пяти ватт в час. Производитель заявляет, что микропроцессор «Байкал-Т1» является первой в линейке многоядерной системой на кристалле. Производитель рассчитывает составить конкуренцию аналогам за счёт широкого набора интегрированных коммуникационных интерфейсов, поддержки суперскалярных инструкций SIMD, быстрого доступа к оперативной памяти с системой исправления ошибок (ECC), дисковой подсистемой с высокой пропускной способностью, выделенными каналами DMA для каждого интерфейса, высокой производительностью в сочетании с низким энергопотреблением. На рисунке 7 представлена структурная схема микросхемы BE-T1000.

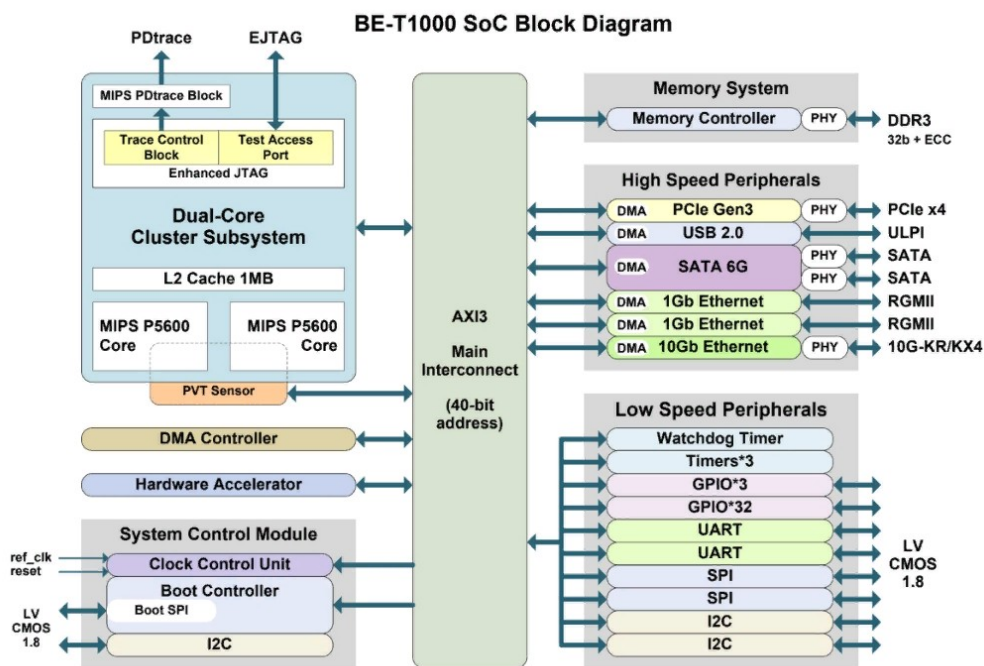


Рисунок 7. Структурная схема микросхемы BE-T1000.

Микросхема, представленная на рисунке 7, включает в себя: двухъядерный микропроцессорный кластер, высокоскоростную внутрипроцессорную шину, контроллер памяти, высокоскоростные интерфейсы ввода-вывода, низкоскоростные интерфейсы для подключения

переферийных устройств, подсистему отладки. Данные логические блоки в глобальном адресном пространстве микропроцессора идентифицируются своими адресами и связаны между собой высокоскоростной внутрипроцессорной шиной. Она организована по принципу матричного переключателя и обеспечивает соединение входов с выходами по принципу «многие с многими». Рассмотрим основные характеристики процессора «Байкал-Т1», которые представлены в таблице 9.

Таблиц 9. Основные характеристики процессора «Байкал-Т1»

Наименование	Характеристики
Процессорная система на основе двухъядерного кластера	Архитектура MIPS32
	Два ядра P-Class P5600 г5, работающих на частоте 1,2 ГГц
	Кэш уровня L1 размером 128 КБ (64 КБ- кэш данных и 64 КБ- кэш инструкций) в каждом ядре
	Кэш уровня L2 размером 1 МБ, которым управляет
	контроллер Coherence Manager
	Вычислительный модуль с плавающей запятой MIPS Gen3 с поддержкой SIMD параллельности
	Глобальный контроллер прерываний (GIC), обеспечивающий одновременную поддержку до 128 обработчиков прерываний
	Встроенный модуль отладки (JTAG debug 5.0 port), включающий блок трассировки (MIPS PDtrace)
Основной интерконнект	Поддержка AMBA 3 AXI протокола
	5 AXI каналов
	40-разрядный адрес
Интерфейсы памяти	32-битный интерфейс модуля памяти DDR3-1600 с 8-битным кодом исправления ошибок
	40-разрядный адрес для приложений
	Поддержка внешних модулей памяти SDRAM размером до

	8 ГБ
Высокоскоростные интерфейсы	Интерфейс PCIe x4 Gen3 (4 тракта с пропускной способностью 8 Гб/с каждый)
	Контроллер USB 2.0 (ULPI)
	Два интерфейса SATA 6G
	Интерфейс 10 Gb Ethernet (10 GBASE KX4, 10 GBASE KR)
	2 контроллера 1 Gb Ethernet (RGMII)
Низкоскоростные интерфейсы	Программируемый сторожевой таймер (WDT)
	3 программируемых таймера на 50 МГц
	Интерфейсы GPIO: 32 бит и 3 бит
	2 интерфейса UART
	2 интерфейса SPI
	3 контроллера I ² C
Мониторинг системы	PVT контроллер
	Сторожевой таймер
Корпус	25x25 мм, 576 выводов HFCBGA
Потребляемая мощность	До 5 Вт
Рабочая температура	от 0 до 70

Процессор подходит для применения в промышленной автоматике, коммуникационном и сетевом оборудовании, в средствах регистрации и визуализации, встроенных системах различного назначения.

Байкал-М, Байкал-М/2, Байкал-М/2+

В октябре две тысячи девятнадцатого года на форуме Открытые Инвестиции состоялась презентация нового процессора от компании «Байкал Электроникс», который получил название «Байкал-М». В основе данного процессора лежит микросхема ВЕ-М1000, которая производится по технологическому процессу двадцать восемь нанометров. По заявлениям производителя плюсами данного продукта является высокая производительность и низкое энергопотребление. На рисунке 8 представлена структурная схема ВЕ-М1000.

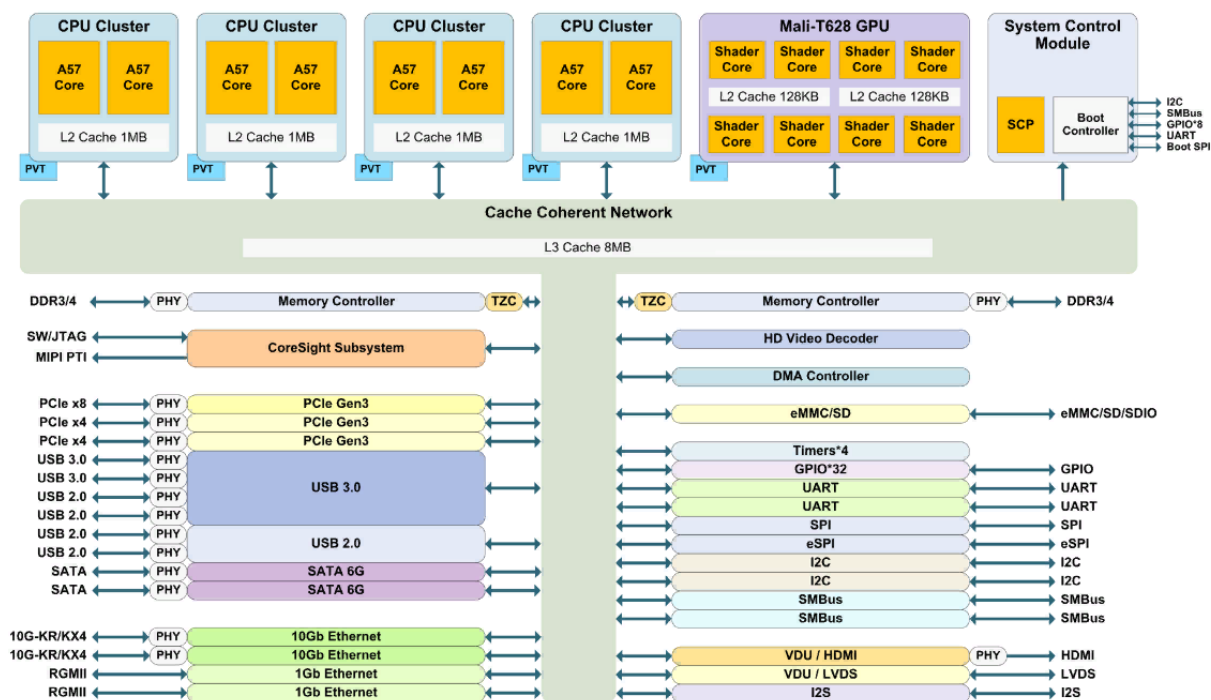


Рисунок 8. Структурная схема BE-M1000.

Как видно из рисунка в основе микросхемы лежат восемь 64-битных ядер ARM Cortex-A57 (ARMv8-A; четыре кластера по два ядра) с частотой до 1,5 ГГц и восьмиядерный графический процессор Mali-T628 с частотой до 700 МГц. Каждый кластер включает оснащён L2 кэш памятью 1 МБ. Каждое ядро содержит 48 КБ L1 кэш команд и 32 КБ L1 кэш данных. Процессорные ядра Arm Cortex-A57 могут работать в защищённом и незащищённом режимах в соответствии с технологией Arm TrustZone. Рассмотрим характеристики процессора «Байкал-М» более детально в таблице 10.

Таблиц 10. Основные характеристики процессора «Байкал-М»

Наименование	Характеристики
Процессорные кластере на базе архитектуры Armv8-A	Восемь ядер Arm Cortex-A57 с частотой до 1,5 ГГц
	4 кластера по два ядра и 1 МБ L2 кэш в каждом кластере
Графический процессор	Arm Mali-T628 с 8 шейдерными ядрами (два четырёхъядерных кластера) с частотой до 750 МГц
	128 КБ кэш-памяти уровня L2 в каждом кластере

Кэш уровня L3	8 МБ когерентной кэш-памяти уровня L3 на системной шине
Подсистема оперативной памяти	Два интерфейса 64-bit DRAM DDR4-2400/DDR3-1600 с поддержкой коррекции ошибок (ECC)
Безопасность	Поддержка Arm TrustZone
	Два TrustZone контроллера
	Аппаратная поддержка доверенной загрузки
Высокоскоростные интерфейсы	Три подсистемы PCIe Gen3: один PCIe x8 и два PCIe x4
	Два интерфейса USB 3.0 и четыре интерфейса USB 2.0
	Две подсистемы SATA 6G
	Два интерфейса 10 Gb Ethernet (10 GBASE KX4, 10 GBASE KR)
	2 контроллера 1 Gb Ethernet (RGMII)
	Интерфейс eMMC/SD/SDIO
Низкоскоростные интерфейсы	Один порт eSPI
	Два порта SMBus
	GPIO: 32 линии
	два порта UART
	один порт SPI
	два порта I ² C
Мониторинг системы	пять PVT датчиков
	Система отладки и трассировки Arm CoreSight™
Корпус	40x40 мм, 1521 выводов FCBGA
Потребляемая мощность	До 35 Вт
Мультимедиа	Видеоконтроллер с интерфейсом LVDS
	Видеоконтроллер с интерфейсом HDMI 2.0
	HD видеodeкодер
	Один порт I ² S

Производитель позиционирует продукт для B2B сегмента и потребительского сектора: персональные компьютеры, микросервера, мультимедийное оборудование, сетевые коммуникации.

В ноябре две тысячи двадцатого года генеральный директор АО «Байкал Электроникс» представил новинки, которые компания планирует выпускать в две тысячи двадцать первом году. Среди них процессоры «Байкал-M/2» и «Байкал-M/2+». Оба процессора являются доработками «Байкал-M» и будут построены по двадцати восьми миллиметровому процессу. Архитектура ядер процессора остаётся неизменной по сравнению с «Байкал-M», но при этом у «Байкал-M/2» количество ядер сократится в два раза. У процессора «Байкал-M/2+» количество ядер останется неизменным, но появится дополнительный видеовыход. Производитель анонсировал для обоих процессоров увеличение памяти на ядро до 512 КБ.

Структурная схема процессоров «Байкал-M/2» и «Байкал-M/2+» представлена на рисунке 9.

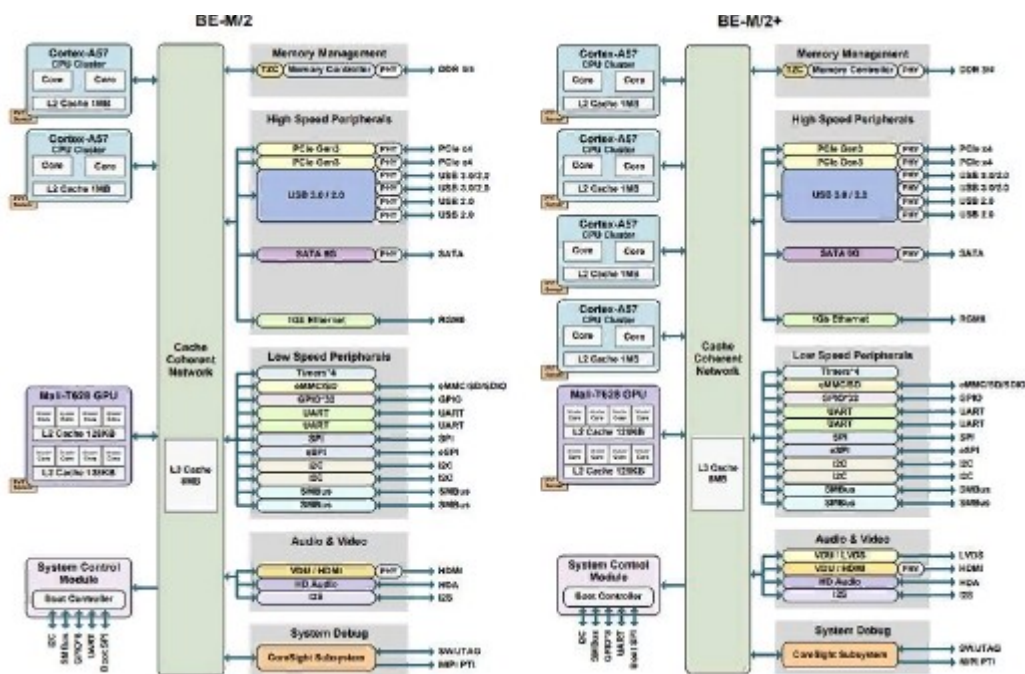


Рисунок 9. Структурная схема процессоров «Байкал-M/2» и «Байкал-M/2+».

В целом данные модели являются урезанными «Байкал-M». Как заявил производитель, новые модели предназначены для рабочих станций и

тонких клиентов. Скорее всего, универсальный процессор «Байкал-М» идеально не подходил ни одному клиенту, поэтому компания сконцентрировалась на узком сегменте тонких клиентов и рабочих станций, где скорее всего, был наибольший спрос на этот продукт.

Байкал-S

На презентации в ноябре две тысячи двадцатого года, помимо урезанных моделей «Байкал-М», был представлен новый процессор, который придёт на замену предыдущему поколению. Про его характеристики, а также про сам процессор информации крайне мало. Есть догадки, что данный продукт будет производиться на фабрике TSMC в Тайване по технологии шестнадцати нанометров, но официально АО «Байкал Электроникс» эти слухи никак не комментирует. Также по слухам «Байкал Электроникс» будет иметь сорок восемь ядер с архитектурой ARM Cortex A75 с тактовой частотой два гигагерца. Возможно наличие большого количества линий PCI Express и контроллеров оперативной памяти, а также четырех интерконнектов для межпроцессорных соединений и поддержку доверенной загрузки. Энергопотребление нового серверного процессора не будет

превышать 120 Вт.

Сравнение с зарубежными аналогами. Сравнение технических характеристик

В данном разделе будет проводиться сравнение российских продуктов микропроцессорной промышленности с зарубежными аналогами. Для сравнения будут браться флагманские модели, которые можно приобрести. Продукцию АО «МЦСТ» будет представлять процессор пятого поколения «Эльбрус-8СВ», который поддерживает команды x86, поэтому логично его сравнивать с флагманами Intel и AMD. Intel в данном сравнении будет представлять процессор Intel Core i9- 10900K. Данный образец представлен на рисунке 10. Из продукции AMD флагманом является процессор AMD Ryzen 9 5900X, который представлен на рисунке 11.



Рисунок 10. Процессор Intel Core i9- 10900К.



Рисунок 11. Процессор AMD Ryzen 9 5900X.

Сравнительные характеристики трёх процессоров и результаты сравнения приведены в таблице 11.

Таблица 11. Сравнение процессоров «Эльбрус-8СВ», Intel Core i9- 10900К, AMD Ryzen 9 5900X.

Параметры сравнения	«Эльбрус-8СВ»	Intel Core i9-10900К	AMD Ryzen 9 5900X
Масштабируемость	8 ядер в процессоре, 4 процессора в модуле (8 Гбайт/с	10 ядер в процессоре	12 ядер в процессоре

	попарные связи)		
Тактовая частота	1500 МГц (для микросхемы 1891ВМ12АЯ)	3700 МГц Турбо boost: 5300 МГц	3700 МГц Турбо (1 ядро): 4800 МГц Турбо (12 ядер): 4500 МГц
Пиковая производительность	50 операций в такт в каждом ядре (8 целочисленных, 12 вещественных). 576 GFLOPS одинарной точности, 288 GPLOPS двойной точности	-	-
Кэш-память	L1: 64 Кбайт данные + 128 Кбайт команды в каждом ядре L2: 512 Кбайт в каждом ядре, 4 Мбайт суммарно L3: 16 Мбайт в процессоре	L1: 64 Кбайт данные на ядро L2: 256 Кбайт в каждом ядре, 2,5 Мбайт суммарно L3: 20 Мбайт в процессоре	L1: 64 Кбайт данные на ядро L2: 512 Кбайт в каждом ядре, 6 Мбайт суммарно L3: 64 Мбайт в процессоре
Оперативная память	4 канала DDR4-2400 registered ECC, до 68,3 Гбайт/с 128 Гбайт на процессор, 1 Тбайт	2 канала DDR4-2933 registered ECC, до 45,8 Гбайт/с 128 Гбайт на процессор	2 канала DDR4-3200 registered ECC, до 47,68 Гбайт/с 128 Гбайт на процессор,

	адресное пространство машины		
Тех процесс	28 нм	14 нм	7 нм
Энергопотребление	90 Вт	125 Вт	105 Вт
Критическая температура	90	105	95

Рассмотрев сравнительные характеристики можно сделать выводы. Во –первых, «Эльбрус-8СВ» морально устарел за четыре года, так что АО «МЦСТ» надо спешить с обновлением флагманской линейки и запуском его в производство, чтобы иметь возможность конкурировать с лидерами отрасли. Процессор «Эльбрус-8СВ» может соперничать с флагманами отрасли только в сравнении кэш-памяти, где он имеет преимущество перед флагманом Intel и не сильно отстаёт от флагмана AMD, и в оперативной памяти, где он превосходит оба западных аналога. Самое заметное отставание в технологическом процессе. АО «МЦСТ» производит продукцию по технологиям двадцати восьми нанометров, так как конкуренты уже освоили технологии семи и четырнадцать миллиметров. Данные про производительности западных аналогов найти не удалось, но так как она напрямую связана с технологическим процессом, то, к сожалению, отечественный продукт проигрывает западным аналогам. Отставанием в технологическом процессе можно объяснить и разрыв в рабочей частоте процессоров. В целом у продукта АО «МЦСТ» более низкое энергопотребление, чем у конкурентов, но при более низкой производительности это не даёт плюсов.

Далее проводится сравнение российского процессора «Байкал-М» с зарубежными аналогами, имеющими архитектуру ARM. Среди зарубежных производителей лидерами данного сегмента рынка являются компании Apple с флагманом Apple M1, который представлен на рисунке 12, и NVIDIA

с флагманом NVIDIA Tegra Parker, который представлен на рисунке 13.



Рисунок 12. Процессор Apple M1.

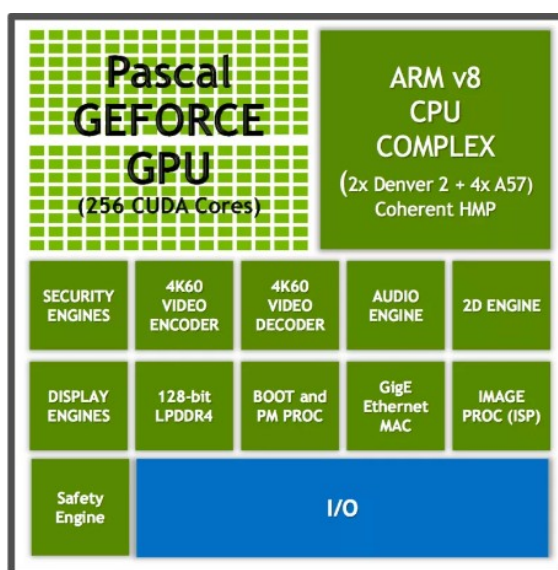


Рисунок 13. NVIDIA Tegra Parker.

Сравнительные характеристики «Байкал-М», Apple M1 и NVIDIA Tegra Parker представлены в таблице 12.

Таблица 12. Сравнительные характеристики «Байкал-М», Apple M1 и NVIDIA Tegra Parker

Параметры сравнения	«Байкал-М»	Apple M1	NVIDIA Tegra Parker
Масштабируемость	8 ядер в процессоре	8 ядер в процессоре	6 ядер в процессоре
Тактовая частота	1500 МГц	3200 МГц	2000 МГц

Пиковая производительность	-	2,6 TFLOPS	1,5 TFLOPS
Кэш-память	L2: 4 Мбайт L3: 8 Мбайт в процессоре	L1: 2 Мбайт L2: 16 Мбайт	L1: 2 Мбайт L2: 2 Мбайт
Тех процесс	28 нм	5 нм	16 нм
Энергопотребление	35 Вт	10 Вт	15 Вт

Как видно из сравнительной таблицы продукция АО «Байкал Электроникс» может конкурировать с флагманами отрасли в параметрах кэш-памяти. В технологическом процессе продукция отечественного производителя не имеет преимуществ, ему потребуется минимум три поколения процессоров, чтобы догнать западные аналоги в технологическом процессе. Пиковая производительность, напрямую зависящая от технологии производства, скорее всего, проигрывает аналогам. Тактовая частота работы процессора и энергопотребление намного хуже, чем у конкурентов.

Подводя итог сравнения отечественных продуктов и зарубежных аналогов, можно сказать, что российская микропроцессорная промышленность имеет и преимущества в параметрах кэш-памяти и оперативной памяти, но в остальном пока проигрывает конкурентам.

Перспективы для российских процессоров

Стратегия развития электронной промышленности до 2030 года

Семнадцатого января две тысячи двадцатого года премьер-министр Российской Федерации Михаил Мишустин подписал документ «Стратегия развития электронной промышленности страны до 2030 года». В документе отражены три этапа развития. На первом этапе в две тысячи двадцатом и две тысячи двадцать первом годах предполагается рост продукции отечественного производства на внутреннем рынке. В принципе, вполне достижимая цель, учитывая, что рост данной продукции будет приходиться на государственные заказы или коммерческие организации, связанные с государством. На втором этапе с две тысячи двадцать второго и до две тысячи двадцать пятого года планируется начать экспансию на зарубежные рынки. Тут уже сложнее, потому что пока отечественные разработки уступают иностранным аналогам. Одним из вариантов решения данной задачи является экспорт в страны СНГ, где продукция российских производителей будет востребована в государственных структурах и предприятиях связанных с ними. При таком сценарии данная задача не кажется невыполнимой. Третий этап, начиная с две тысячи двадцать шестого

и до две тысячи тридцатого года, предполагается устойчивый рост отрасли с лидирующими позициями на перспективных рынках. Вот на этом пункте возникают большие вопросы. Сейчас ведущие компании, которые хотят стать лидером в прорывных технологиях четвёртого десятилетия, уже начинают работу по подбору персонала и первые этапы разработки. В нашей стране о таком пока только говорят, но пока ничего не сделано в плане организации стартапов и начала разработок. К примеру, компания Apple уже начала разработку технологии 6G, в которой она хочет стать лидером. Компания Facebook ведёт разработки в сегменте виртуальной реальности. Это два примера прорывных технологий четвёртого десятилетия. В документе, подписанным премьер-министром, указано, что темпы роста российской электронной промышленности должны составить около восьми процентов в год, при среднемировых темпах роста в семь процентов в год. За счёт опережающих темпов роста, доля российской электроники в мере к две тысячи тридцатому году должна увеличиться с шести десятых процента до полутора. Такой рост показателей возможен за счёт эффекта «низкой базы».

В документе отражено три варианта событий: консервативный, целевой и инновационный. Кратко расскажем о каждом из вариантов. При консервативном сценарии объём экспорта в две тысячи двадцать первом году должен составить 5,1 миллиард долларов, что составит примерно 2,2 процента от внутреннего валового продукта, к две тысячи двадцать шестому году объём экспорта составит 7,8 миллиардов долларов, что равно примерно 2,7 процента от внутреннего валового продукта, а в две тысячи тридцатом объём экспорта будет составлять 10 миллиардов долларов и занимать 3 процента от внутреннего валового продукта страны. При целевом сценарии объём экспорта в две тысячи двадцать первом году должен составить 5,3 миллиард долларов, что составит примерно 2,2 процента от внутреннего валового продукта, к две тысячи двадцать шестому году объём экспорта составит 8,6 миллиардов долларов, что равно примерно 2,9 процента от внутреннего валового продукта, а в две тысячи тридцатом объём экспорта

будет составлять 12 миллиардов долларов и занимать 3,5 процента от внутреннего валового продукта страны. При консервативном сценарии объём экспорта в две тысячи двадцать первом году должен составить 5,5 миллиард долларов, что составит примерно 2,2 процента от внутреннего валового продукта, к две тысячи двадцать шестому году объём экспорта составит 9,8 миллиардов долларов, что равно примерно 3 процента от внутреннего валового продукта, а в две тысячи тридцатом объём экспорта будет составлять 14,8 миллиардов долларов и занимать 3,8 процента от внутреннего валового продукта страны.

Соглашение Huawei и РТИ

В две тысячи двадцатом году АО «РТИ» подписало соглашение с китайским производителем микропроцессоров Huawei о производстве продукции для серверов, которое будет осуществляться на мощностях Саранского телевизионного завода. Продукция будет выпускаться под брендом РТИ. Основой для нового процессора станет линейка Huawei Kunpeng , которые созданы по технологии семи нанометров и имеют шестьдесят четыре ядра на архитектуре ARM, работающих на частоте 2,6 гигагерц. В соглашении предусматривает разработку специализированного программного обеспечения, которую возьмёт на себя АО «РТИ». Как заявляет российский производитель, программное обеспечение будет четырёх классов: управление основными данными, продвинутая бизнес аналитика, предсказательная и предписывающая аналитика, машинное обучение для операционных и управленческих решений. Первая партия серверов должна выйти с Саранского телевизионного завода уже в начале две тысячи двадцать первого года. Также директор департамента радиоэлектронной промышленности, входящего в министерство промышленности, Василий Шпак, заявил, что существует возможность

допуска китайского концерна к российским государственным закупкам в обмен на предоставление технологий. Такое партнёрство выглядит крайне скептическим, так как китайский производитель и без сектора российских государственных закупок показывает неплохую прибыль. Следовательно, компании Huawei нецелесообразно пытаться взять рынок российских государственных организаций ценой раскрытия собственных технологий. С большой долей вероятности, партнёрство в таком виде не состоится.

Проект «Макро ЕМС» в промышленной зоне Обухово

Компания «Макро ЕМС» в промышленной зоне Обухово построит завод по контрактному производству электроники. Инвестиции в проект со стороны компании составят сто миллионов рублей и четыреста миллионов выделят Фонд по развитию промышленности и Федеральная корпорация по развитию малого и среднего бизнеса. Предприятие должно заработать в середине текущего года.

Новый проект расширяет мощности «Макро ЕМС» в том же месте по контрактному производству, что позволит увеличить объём выпускаемой продукции в четыре раза и создать семьдесят высококвалифицированных рабочих мест. Данный проект ориентирован на локализацию производств мировых автоконцернов, за счёт локализации производств электроники. Данную меру стимулирует правительство Российской Федерации. Теперь для допуска к государственным закупкам вычислительной техники, медицинского и телекоммуникационного оборудования необходимо российское производство. По словам Сергея Зорина, бывшего акционера компании, разработавшей первый российский смартфон, для стабильного спроса проекту достаточно грамотно выстроить производство, маркетинг и клиентское обслуживание. Эксперт считает, что успех проекта зависит от

налаживания производства материнских плат для серверов.

В целом, правительство Российской Федерации прилагает все зависящие от него усилия для успешной реализации проекта, остаётся только грамотно выстроить бизнес и воспользоваться помощью

Заключение

В заключении хочется сказать, что во время написания этого реферат у автора вместо уверенности о полном нуле микропроцессорной промышленности в России, появилось понимание об определённом уровне. Конечно, до уровня ведущих производителей продукция отечественного производства пока не дотягивает, но в параметрах оперативная память и кэш-память превосходит их уже сейчас. В целом, правительство делает правильные шаги по выводу микропроцессорной промышленности на новый уровень, стимулируя производство и разработку различными грантами и субсидиями, государственными заказами и заказами с предприятий связанных с государством. Однако есть вопросы к производителям, а точнее к маркетингу производителей и к построению общения с потенциальной аудиторией. В Российской Федерации много клиентов, которые не против приобрести продукты отечественного производства, но они даже не знают о существовании таковой. Не каждому потенциальному клиенту нужно написать реферат о состоянии микропроцессорной промышленности в России, чтобы знать о продукции отечественных производителей.

Подводя итог, можно сделать вывод, что отечественные разработки проигрывают и будут проигрывать борьбу за клиента, пока не смогут

нормально выстроить маркетинговую составляющую и наладить общение с потенциальными клиентами.

Библиографический список

1. Домницкий, Н. Тридцать лет отставания – часть I (выпуск № 10 (873)) / Н. Домницкий // Военно-промышленный курьер. – 2021 год. – 23 марта.
2. Домницкий, Н. Тридцать лет отставания – часть II (выпуск № 11 (874)) / Н. Домницкий // Военно-промышленный курьер. – 2021 год. – 30 марта.
3. Малашевич, Б.М. Ангстрем – лидер советской МОП микроэлектроники / Малашевич, Б.М. // computer-museum.ru: [сайт]. – 26.04.2013. – URL: https://computer-museum.ru/histekb/angstrem_sorucom_2011.htm (дата обращения: 25.05.2021).
4. АО «МЦСТ». Центральный процессор «Эльбрус-1С+» / АО «МЦСТ» // mcst.ru: [сайт]. – 2013-2021. – URL: <http://www.mcst.ru/elbrus-1c-plus> (дата обращения: 25.05.2021).
5. АО «МЦСТ». Центральный процессор «Эльбрус-8С» / АО «МЦСТ» // mcst.ru: [сайт]. – 2013-2021. – URL: <http://www.mcst.ru/elbrus-8c> (дата обращения: 26.05.2021).
6. АО «МЦСТ». Центральный процессор «Эльбрус-8СВ» / АО «МЦСТ» //

- mcst.ru: [сайт]. – 2013-2021. – URL: <http://www.mcst.ru/elbrus-8cb>
(дата обращения: 26.05.2021).
7. АО «МЦСТ». Получен первый инженерный образец микропроцессора Эльбрус-16С/ АО «МЦСТ»// mcst.ru: [сайт]. – 2013-2021. – URL: <http://www.mcst.ru/poluchen-pervyj-inzhenernyj-obrazec-mikroprocessora-elbrus16c> (дата обращения: 26.05.2021).
8. АО «МЦСТ». Презентация PowerPoint | Эльбрус-8С/ АО «МЦСТ»// mcst.ru: [сайт]. – 2013-2021. – URL: http://www.mcst.ru/files/60365c/d5dece/615775/90a70b/mtsst_trushkin_16_3.pdf (дата обращения: 26.05.2021).
9. Канал на площадке Яндекс.Дзен «Электромозг». Российский процессор Эльбрус-12 для игровых настольных компьютеров/ Канал на площадке Яндекс.Дзен «Электромозг»// zen.yandex.ru:[сайт]. – 25.03.2021. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/electromozg/rossiiskii-processor-elbrus12s-dlia-igrovyyh-nastolnyh-kompiuterov-6057e5e249cb274f85d5cd22> (дата обращения 27.05.2021)
10. АО «Байкал Электроникс». Процессор «Байкал-Т» (BE-T1000)/ АО «Байкал Электроникс»// baikalelectronics.ru: [сайт] – 2012-2021. – URL: [https://www.baikalelectronics.ru/products/35/#:~:text=Байкал-Т%20\(BE-T1000\)%20-%20отечественная%20система,устройств%20потребительского%20и%20B2B%20сегментов](https://www.baikalelectronics.ru/products/35/#:~:text=Байкал-Т%20(BE-T1000)%20-%20отечественная%20система,устройств%20потребительского%20и%20B2B%20сегментов) (дата обращения 27.05.2021)
11. АО «Байкал Электроникс». Микропроцессор «Байкал-Т» (BE-T1000). Краткое описание (Datasheet) / АО «Байкал Электроникс»// baikalelectronics.ru: [сайт] – 2012-2021. – URL: https://www.baikalelectronics.ru/upload/iblock/201/BE_T1000-Datasheet-RUS.pdf (дата обращения 27.05.2021)
12. АО «Байкал Электроникс». Процессор «Байкал-М» (BE-M1000)/ АО «Байкал Электроникс»// baikalelectronics.ru: [сайт] – 2012-2021. – URL: <https://www.baikalelectronics.ru/products/238/> (дата обращения

- 27.05.2021)
13. АО «Байкал Электроникс». Микропроцессор «Байкал-Ъ» (BE-M1000). Предварительное краткое описание (Datasheet) / АО «Байкал Электроникс»// baikalelectronics.ru: [сайт]–[2012-2021.](#)– URL: https://www.baikalelectronics.ru/upload/iblock/ae0/BE_M1000-Preliminary-Datasheet-RUS.pdf (дата обращения 27.05.2021)
 14. Alina94. «Байкал» станет ближе: в 2021 выйдут два дешёвых российских процессора/ Alina94// trashbox.ru [сайт]–[30.11.2021.](#)– URL: <https://trashbox.ru/link/2020-11-30-baikal-m2-baikal-s>(дата обращения 27.05.2021)
 15. nanoreview.net. Intel Core i9- 10900K против AMD Ryzen 9 5900X/ Сравнение CPU// nanoreview.net. [сайт]–[30.11.2021.](#)– URL: <https://nanoreview.net/ru/cpu-compare/intel-core-i9-10900k-vs-amd-ryzen-9-5900x> (дата обращения 27.05.2021)
 16. Егор Ликоспатов. Nvidia Tegra Parker: новые подробности/ Егор Ликоспатов//gadget-news.ru [сайт]–[23.08.2016](#)–[URL: http://gadgets-news.ru/nvidia-tegra-parker-novye-podrobnosti/](#) (дата обращения 27.05.2021)
 17. Канал на площадке Яндекс.Дзен «ITeasy». Apple M1- смотрим на революционный процессор, который изменит рынок компьютеров/ Канал на площадке Яндекс.Дзен «ITeasy»// zen.yandex.ru:[сайт]. –[26.11.2020.](#)– URL: <https://zen.yandex.ru/media/iteasy/apple-m1-smotrim-na-revoliucionnyj-processor-kotoryi-izmenit-rynok-kompiuterov-5fbc524d0b4af8014987cb07> (дата обращения 27.05.2021)
 18. avex. Через 10 лет Россия будет выпускать чипы 5-7 нм? / avex// aftershock.news:[сайт].–[22.01.2020.](#)–URL: <https://aftershock.news/?q=node/825686&full> (дата обращения 28.05.2021)
 19. Алёна Фомина. Стратегия развития электронной промышленности до 2030 года/Алёна Фомина// soel.ru [сайт]. –[7.09.2018.](#)–URL: https://www.soel.ru/files/Стратегия_ЭП_2030_ГАС2018.pdf (дата обращения 28.05.2021)

20. Денис Воейков. В России на телевизионном заводе будут выпускать ARM-серверы на 7-нм чипах Huawei/ cnews// cnews.ru [сайт]. – 2.10.2020. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2020-10-01_v_rossii_na_ubytochnom_televizionnom (дата обращения 28.05.2021)
21. Владимир Грязневич. В Петербурге будет построен завод по производству электроники./РБК// rbc.ru [сайт]. – 30.07.2020. – URL: https://www.rbc.ru/spb_sz/30/07/2020/5f2273a09a79472e71a99ea4 (дата обращения 28.05.2021)