# Создание решений на платформе Эльбрус и ОС Нейтрино

Трушкин Константин Александрович
Зам. директора по развитию АО «МЦСТ»

# О компании АО «МЦСТ»

Инженерная школа С.А. Лебедева

Непрерывная традиция

Технологический суверенитет без компромиссов

Ведущие специалисты по микроэлектронике в России

Высокая экономическая эффективность разработки

АО «МЦСТ» — кузница кадров для российской микроэлектроники

**>400** ЧЕЛОВЕК В ШТАТЕ

**33** ГОДА НА РЫНКЕ

СИСТЕМООБРАЗУЮЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

# МЫ СОЗДАЕМ АПП - ПОЛНЫЙ СТЕК ТЕХНОЛОГИЙ

Аппаратно-программная платформа (АПП)

- Архитектура процессора
- Логический и физический дизайн процессора
- Компиляторы
- Операционные системы

Референсные дизайны материнских плат

Вычислительные комплексы общего и спец.назначения

Сопровождение и консалтинг

# Технологический задел - ПРОЦЕССОРЫ МЦСТ

4 поколения микропроцессоров, 2 архитектуры за 10 лет

Эльбрус-4С
65нм

3 поколение

50 GFLOPS
4 ядра
0.75 ГГц
До 4 МП

**2013**

Эльбрус-8С
28нм

4 поколение

250 GFLOPS
8 ядер
1.3 ГГц
До 4 МП

**2015**

Эльбрус-8СВ
28нм

5 поколение

580 GFLOPS
8 ядер
1.5 ГГц
До 4 МП

**2018**

Эльбрус-16С
16нм

6 поколение

1.5 TFLOPS
16 ядер
2.0 ГГц
До 4 МП

**2021**

Эльбрус-2С3
16нм

6 поколение

0,18 TFLOPS
2 ядра
2.0 ГГц
3D GPU+codec

**2022**

МЦСТ R2000
28нм

SPARC V9

64 GLOPS
8 ядер
2.0 ГГц
До 4 МП

**2018**

МЦСТ R2000+
28нм

SPARC V9

16 GLOPS
2 ядра
2.0 ГГц
3D GPU+codec
<10 W

**2022**

**от серверов и супер-ЭВМ до ноутбуков и встраиваемых ЭВМ**

# Освоенные классы ПАК на российских процессорах

Промышленные контроллеры

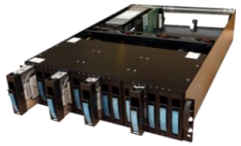
Промышленные компьютеры

Терминалы, тонкие клиенты, ноутбуки, ПК

Системы и терминалы ВКС

СуперЭВМ

Сервер приложений

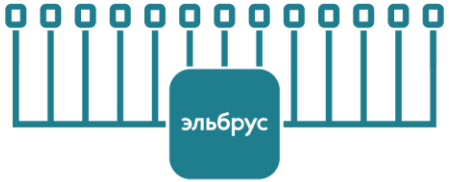


Система хранения данных

Кластер баз данных

Программно-определяемое ТКО

# ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ЭЛЬБРУС




**ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА**

**до 25** ОДНО ЯДРО ВЫПОЛНЯЕТ ДО 25 ОПЕРАЦИЙ В ТАКТ

**Secure by design**

**ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗОПАСНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Превосходит требования CISA

**>70%** ЗАЩИЩАЕТ ОТ >70% АТАК НА ДАННЫЕ В ПАМЯТИ

**ДВОИЧНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ С X86, X86-64**

**>80%** КПД WINDOWS ВНУТРИ ВИРТУАЛЬНОЙ МАШИНЫ >80%

# Технология безопасных вычислений (ТБВ)

- Теговый контроль типов данных на аппаратном уровне
- Адресная информация всегда отличима от не адресной
- Контроль выхода за границы выделенной области памяти
- Запрет конструирования указателей (целое в указатель)
- Запрет на использование неинициализированных данных

# Технология безопасных вычислений (ТБВ)

Защита от ошибок программиста:

- неинициализированные данные
- выход за границы объектов

*(защита от Spectre!)*

- обращение к освобождённой памяти

Защита от эксплуатации ошибок (уязвимостией) злоумышленником:

- Переполнение буфера (buffer overflow)
- use-after-free

*(они – источник >70% атак по данным ARM)*

Изоляция недоверенного модуля / защита от утечек информации через библиотеки

- межмодульная защита

Рост производительности труда программистов в несколько раз

# Программная экосистема

Языковой компилятор lcc:
- C11, Fortran2003, C++ 20
- **llvm** 17.0.1 (19.0.1 в разработке)

Двоичный транслятор x86 system / app

Утилиты: gdb, gcov, gprof, dprof
IDE: codeblocks, anjuta, QT Creator

JIT- компиляторы:
- Java 8, 11, 21
- .NET Mono 3, .NET Core 6 (8 в разработке)
- NodeJS, v8, SpiderMonkey

- Библиотека EML ~ 4000 функций

- Виртуализация
- Искусственный интеллект
- Российские ОС – Alt Linux, Astra Linux, Эльбрус, Нейтрино
  - Ядра: 6.1, 5.10 и ранние. Версии для Эльбрус, x86-64, SPARC
  - Более 5000 программных пакетов (более 17.000 в дистрибутиве Альт Сизиф)
  - Арх.-зависимые фрагменты и оптимизации

Платформа ГНС

ONNXRuntime

OpenCV

PYTORCH

TensorFlow

ОСРВ «БагрОС-4000»

# Математическая библиотека EML и поддержка OpenMP

Полная поддержка OpenMP 4.5

Библиотека EML с >4000 функциями. Поддержка BLAS, LAPACK-3.11.

**VectorGeneral (basic) operations:**
arithmetic/logical/filling/copying (Add/Sub/Mul/Div/MulAdd,
AddC/SubC/SubCRev/MulC/DivC/DivCRev/MulCAdd/MulCAddC, And/Or/Xor/Not, AndC/OrC/XorC, Shift, Copy, Set, Move);
Mathematical Functions (Abs, Sqrt, Exp, Log, Atan, Ampl, Phase, Sin, Cos, SinCos, Tan, Pow);
Statistics (Min/Max/MinMax, Max/MinEvery, Max/Min/MaxMinIndex, Mean, StdDev, SumAbs, SumAbsDiff);
Conversion (TypeConvert, Split/Merge, Conj, SwapByte, Threshold/LT/GT, LookUp, Flip);
Miscellaneous (Norm, NormDiff, DotProd).
**Linear Algebra (Algebra)**
Basic packages of linear algebra routines of levels 1, 2 and 3 (BLAS1/2/3), containing vector-vector (BLAS1), vector-matrix (BLAS2), matrix-matrix (BLAS3) operations (AXPY, GEMM, DOT, SCAL);
The standard package of linear algebra LAPACK – functions for finding eigenvalues, factorization, solving systems of linear equations, etc.
Working with sparse matrices - Sparse BLAS-1,2,3, addition, transposition, conversion from CSR format to other formats and back.
**Signal (Signal)**
Fast Fourier and Hartley transforms (FFT, FHT, ConjPerm, MulPerm);
Calculation of signal characteristics, convolution (Auto/CrossCorr, Conv, ConvBias);
Filtering and amplification (IIR, FIR, LMS, Emphasize, AverageWindowDetect);
Signal/noise generation (ToneGen, UniformGen, GaussGen);
Window Generation (GenBarlett / Blackman / Hamming / Hanning / Kaiser);
Changing the frequency and scale (Up/DownSample/ReSampleFIR).

# Математическая библиотека EML и поддержка OpenMP

Полная поддержка OpenMP 4.5

Библиотека EML с >4000 функциями. Поддержка BLAS, LAPACK-3.11.

**Image (Image)**
Creation, destruction, access to structure fields (Create/Set/Srtruct/CreateSubimage/Delete/getData ...);
Filling, copying (setData/Border/Color, Copy/Subimage/Rectangle/Channel);
Arithmetic and logical operations, functions (Add/Sub/Mul/Div/MulAdd, AddC/SubC/SubCRev/MulC/DivC/DivCRev/MulCAdd/MulCAddC, And/Or/Xor/Not, AndC/OrC/XorC, Abs, Sqrt, Shift, Min/MaxEvery);
Conversion (TypeConvertShift, LookUp, Threshold/LT/GT, Extract/Insert/Split/Merge/SwapChannel);
Statistics (Min/Max/MinMax, Min/Max/MinMaxIndex, Mean, StdDev, Moment2, Histogram);
Auto and Cross correlation (Auto/CrossCorrel);
Filtering (Conv, SepConv, Dilate/Erode/RankFilter)
Color transformations (ColorConvert/Shift, Blend/C/Alpha, changeColor);
Geometric transformation (Resize, Affine, Rotate, Flip, SubsampleAverage);
2-dimensional fast Fourier transform (DFT).

# Математическая библиотека EML и поддержка OpenMP

Полная поддержка OpenMP 4.5

Библиотека EML с >4000 функциями. Поддержка BLAS, LAPACK-3.11.

**Video (Video)**
Discrete cosine transform, de/quantization (I/DCT, De/Quantize8x8);
Color transformations (ColorConvert, Split/Merge);
Image resolution increase/Decrease (Up/DownSample 420, 422, 444);
Half pixel interpolation and averaging (Interp/InterpAve/X/Y/XY);
Copying blocks (CopyRef);
Sum of Absolute Differences (SumAbsDiff);
Block addition, spatial filtering (AddBlock, P64Loop);
Generation of the brightness prediction block (H263OverlappedMC).
GraphicsPainting/Filling In Dots/Lines/Triangles/Rectangles/Polygons/Arcs/Circles/Ellipses (Draw/Fill (Point, Line,Triangle, Rectangle, Polygon, Circle, Arc, Ellipse));
Painting over/Recoloring the area (Boundary, Flood)
FillModes: with smoothing, Alpha Blending, Gourad Shading, with depth buffer, exclusive OR (Anitaliasing, Alpha Blending, Gourad Shading, Z Buffering, Xor).
**Volume (Volume)**
Throwing parallel/arbitrary rays with interpolation (RayCast_General/Blocked_Parallel/Divergent_Nearest/Trilinear);
Linear scaling of voxels (windowLevel);
Search for maximum values on each ray (findMax/(C,B)Mask).

# Эльбрус-2С3

- Система на кристалле
- Производительность - до 192/96 Gflops;
- Количество ядер – 2; архитектура Эльбрус v6
- Кэш – память L2 – 4 МБ (по 2 МБ на ядро)
- Тактовая частота – 2 ГГц
- ОЗУ – DDR4-3200, 2 канала (до 50 ГБ/с)
- PCI-Ex. 3.0 x 16 (до 15 Гбайт/с в кажд. напр-и)
- Встроенное видео с 3D ускорением
- Аппаратные видеоэнкодеры:
  - VP9
  - H.264/265
- Аппаратные видеодекодеры:
  - VP8, VP9
  - MJPEG, MPEG-1, MPEG-2, H.263/264/265, MPEG-4,
- Потребляемая мощность ~25 Вт;

- 3 независимых дисплейных контроллера
- 4 видеовыхода: 1xRGB, 2xHDMI(+звук), 1xLVDS
- разрешения FullHD, “2.5k”, “4k”
- видеовыходы DVI/HDMI, LVDS, DSI, DisplayPort
- VGA-совместимость
- 2D: блиттер, alpha blending, YUV, оверлеи, повороты на 90°
- 3D: 300 GFlops, 9 Gpix/s

# Набор разработчика для ОСРВ «Нейтрино»

Языковой компилятор lcc:
- C11, Fortran2003, C++ 20

IDE: поставляется СВД «Встраиваемые системы»

| Характеристика реального времени | 1892ВМ14Я | Baikal-T1 | Rockchip RK3568 | Эльбрус-1С+ | Эльбрус-2С3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Число ядер, архитектура | 2 * Cortex-A9 | 2* MIPS 5600 | 4 * Cortext A55 | 1 * Эльбрус v4 | 2 * Эльбрус v6 |
| Частота ядер | 0,8 GHz | 1,2 GHz | 2,0 GHZ | 1,0 GHz | 2,0 GHz |
| Разрядность ядер | 32-bit | 32-bit | 64-bit | 64-bit | 64-bit |
| Среднее время реакции на прерывание в обработчике, мкс | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 2,0 | 1,0 |
| Максимальное время реакции на прерывание в обработчике, мкс | 1,6 | 1,7 | 3,3 | 6,0 | 3,0 |
| Среднее время реакции на прерывание в пользовательском потоке, мкс | 1,2 | 1,4 | 3,5 | 5,0 | 2,5 |
| Максимальное время реакции на прерывание в пользовательском потоке, мкс | 2,4 | 2,7 | 5,3 | 9,0 | 4,5 |
| | | | | | *Прогноз |

ОСРВ «БагрОС-4000»

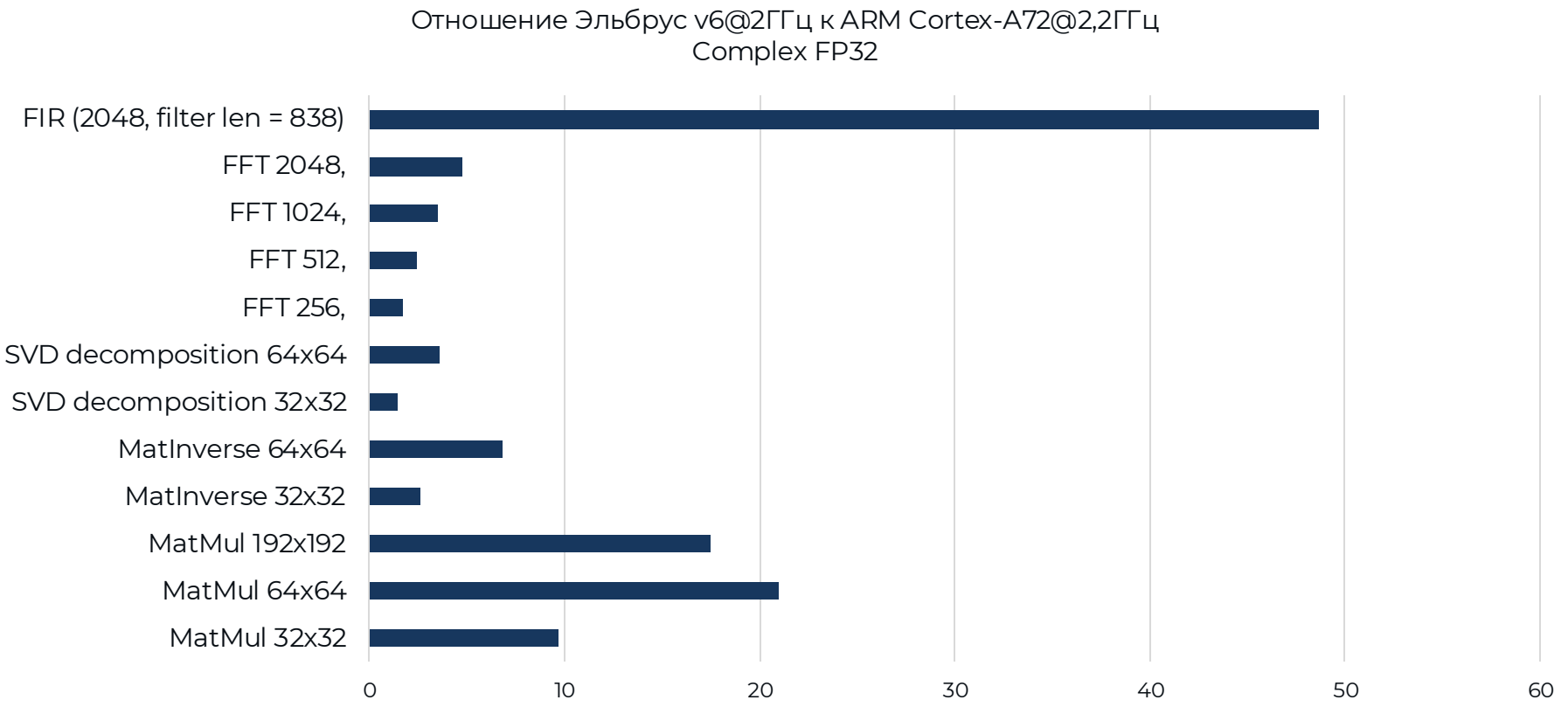
# Производительность Эльбрус-4С@800МГц против TI C6678@1ГГц

| Операция | | TMS320C6678 | | | Эльбрус-2С+ | Эльбрус-4С | Эльбрус-2С3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 ГГц | 1 ГГц | 1 ГГц | 0,5 ГГц | 0,8 ГГц | 2 ГГц |
| | | DDR3 | DDR3 | DDR3 | 2*DDR2 | 3*DDR3 | 2*DDR4 |
| № | Наименование | Всё в DDR3 | Обработка построчно, в L2: h1,h2,h3,YF,YF1 | DMA (оценка) | | | |
| 1 | Обнуление массивов | 4,00 | 0,39 | 0,00 | 1,10 | 0,69 | 0,28 |
| 2 | Поиск максимума модуля | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,15 | 0,09 | 0,04 |
| 3 | Расчёт h1 | 0,29 | 0,23 | 0,26 | 0,82 | 0,51 | 0,20 |
| 4 | Расчёт h2 | 0,34 | 0,27 | 0,23 | 0,24 | 0,15 | 0,06 |
| 5 | Вычитание постоянной составляющей, умножение на h1 | 0,26 | 0,24 | 0,24 | 0,21 | 0,13 | 0,05 |
| 6 | Дополнение нулями (канал 1) | 0,13 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,01 |
| 7 | БПФ-256 (канал 1) | 0,37 | 0,15 | 0,15 | 0,32 | 0,20 | 0,08 |
| 8 | Умножение на h2 (канал 1) | 0,25 | 0,09 | 0,10 | 0,08 | 0,05 | 0,02 |
| 9 | Обратное БПФ (канал 1) | 0,39 | 0,18 | 0,14 | 0,23 | 0,14 | 0,06 |
| 6..9 для канала 2 | | 1,00 | 0,37 | 0,36 | 0,41 | 0,26 | 0,10 |
| 10 | Вывод результатов | 0,71 | 0,64 | 0,26 | 1,16 | 0,73 | 0,29 |
| 11 | Расчёт h3 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| 12 | БПФ-8192 (канал 1) | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,22 | 0,14 | 0,06 |
| 13 | Умножение на h (канал 1) | 0,17 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| 14 | ОБПФ-8192 (канал 1) | 0,26 | 0,25 | 0,26 | 0,13 | 0,08 | 0,03 |
| 15 | Умножение на h0 (канал 1) | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| 16 | ОБПФ-4096 (канал 1) | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,16 | 0,05 | 0,02 |
| 17 | Умножение на h3 (канал 1) | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,04 | 0,02 |
| 12...17 для канала 2 | | 0,64 | 0,66 | 0,66 | 0,45 | 0,28 | 0,11 |
| Основные операции цикла обработки (меньше-лучше) | | **9,34** | **4,06** | **3,23** | **5,85** | **3,62** | **1,45** |
| * | | | | | | | *Прогноз |

Используются векторные библиотеки TI для TMS и EML для арх-ры Эльбрус

Витязев С.В., Морозова С.А., Савостьянов В.Ю. Сравнение вычислительных возможностей процессоров «эльбрус» и tms320c66x в задачах цифровой обработки радиолокационных сигналов. 2015.

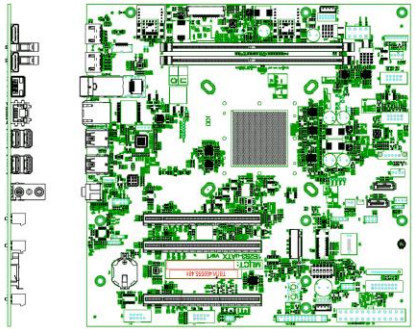
# Производительность Эльбрус v6 vs. ARM A72



# Типоряд электронных модулей «Эльбрус-2С3»

ИНЭУМ им. И.С. Брука

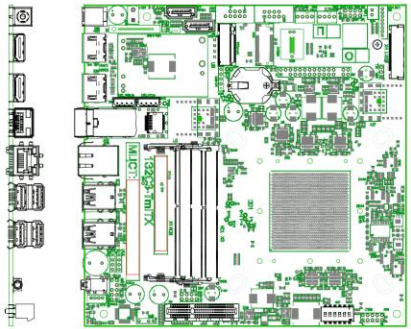
**Процессорный модуль «МП21» (ТЕГР.467144.004)**



**Вычислительный модуль «1Э2С3-uATX» (ТВГИ.469555.481)**

ИНЭУМ им. И.С. Брука

**Процессорный модуль «Е2С3-СОМ» (ЛЯЮИ.469555.114)**



**Вычислительный модуль «1Э2С3-TmITX» (ТВГИ.469555.480)**

ИНЭУМ им. И.С.Брука

## ПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ «МП21» (ТЕГР.467144.004)

Выполнен на базе процессора Эльбрус-2С3, в форм-факторе COM Express Type 6 Compact (95×95 мм). Представляет собой «компьютер на модуле» – встраиваемый компьютер промышленного назначения для использования в качестве мезонина, устанавливаемого на специализированных платах носителях. Модуль представляет собой полноценное процессорное ядро с интегрированными контроллерами периферийных интерфейсов и видеоконтроллером, распаянной оперативной памятью, а также с интегрированным твердотельным накопителем.

Модуль может поставляться в комплекте с теплораспределительной пластиной, обеспечивающей передачу выделяемого тепла на охлаждающие конструкции изделия Заказчика.

Встроенное в процессор Эльбрус-2С3 графическое ядро позволяет широко применять модуль в системах отображения информации.

ИНЭУМ им. И.С.Брука

# ПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ «E2C3-COM» (ЛЯЮИ.469555.114)

Модуль E2C3-COM на базе процессора Эльбрус-2С3 в форм-факторе COM Express Type 6 Basic. Представляет собой «компьютер на модуле» – встраиваемый компьютер промышленного назначения для использования в качестве мезонина, устанавливаемого на специализированных платах носителях. Модуль включает в себя полноценное процессорное ядро с интегрированными контроллерами периферийных интерфейсов и видеоконтроллером, оперативной памятью, выполненной методом поверхностного монтажа, а также с интегрированным твердотельным носителем объемом до 120 ГБ.

Модуль может поставляться в комплекте с теплораспределительной пластиной, обеспечивающей передачу выделяемого тепла на охлаждающие конструкции изделия Заказчика.

Встроенное в процессор Эльбрус-2С3 графическое ядро позволяет широко применять модуль в системах отображения информации.

# МОДУЛЬ ПРОЦЕССОРНЫЙ CPCI-Э2С3

ИНЭУМ им. И.С. Брука

Процессорный модуль CPCI-Э2С3 – это промышленный одноплатный компьютер, выполненный по стандарту CompactPCI Serial (PICMG CPCI-S.0) в форм-факторе CPCI Serial 3U. Модуль CPCI-Э2С3 предназначен для использования в системах CompactPCI Serial в качестве основного центрального вычислительного и обрабатывающего устройства центрального вычислительного и обрабатывающего устройства.

Процессорный модуль CPCI-Э2С3 подходит для применения в робототехнике, бортовых системах, промышленной автоматизации, системах связи, на транспорте и в др. сферах.

Модуль устанавливается в крейт/корпус с объединительной платой CompactPCI Serial

| | |
|---|---|
| **Процессор** | **Эльбрус-2С3, 2 ядра, до 1600 МГц** |
| **Оперативная память** | DDR4 SDRAM с ECC, 2 канала, объём 16 ГБ, напаянная |
| **Твердотельный накопитель** | NVME uSSD 120 GB |
| **Интерфейсные каналы передней панели** | 2x Ethernet 10/100/1000 Mbit/s Base-T (RJ45)<br>1x HDMI<br>2x USB 3.0 (Type-A)<br>1x порта UART |
| **Интерфейсные каналы соединителя CPCI Serial** | 1x IPMB<br>7x USB 2.0<br>2x SuperSpeed USB 3.0<br>1x Ethernet 10/100/1000 Mbit/s Base-T<br>2x SATA 3.0<br>2x PCI Express 3.0 x4 |
| **Подключаемые модули** | модуль доверенной загрузки (опция) |
| **Часы реального времени** | есть, с питанием от литиевой батареи |
| **Сторожевой таймер** | внутренний, с возможностью программного управления |
| **Электропитание** | от источника постоянного тока 12В или +12В/+5В_SB |
| **Потребляемая мощность** | +12 В – не более 4 А<br>+5 В_SB – не более 2 А |
| **Рабочая температура** | -40...+55°С |
| **Срок службы** | 10 лет |
| **Форм-фактор** | CPCI Serial 3U, 5 HP |
| **Поддерживаемые ОС** | ОС «Эльбрус»; ОС Astra Linux |

# Микропроцессор R2000+

- Система на кристалле
- Производительность - до 16/8 GFlops;
- Количество ядер – 2; архитектура SPARC v9
- Кэш память L2 - 2 МБ
- Тактовая частота – до 2 ГГц;
- ОЗУ – DDR4/LPDDR4-2667, 1 канал
- Периферийные контроллеры (частично пересекаются по линиям вывода)
  - PCI-Ex. 3.0 x 8 (поддержка до 4 устройств)
  - SATA 3.0 x2
  - Ethernet 1...2.5G x2
  - Ethernet 10G
  - USB 3.0 x2 + USB 1.1 x2
  - CAN x2
- Встроенное видео с 3D ускорением – 200 GFlops

  Аппаратные видеокодеки: VP9
- Потребляемая мощность ~5...10 Вт;
- Основной модуль в формате QSeven

# Формирование открытого сообщества

Раскрыты:

исходные коды ядра Linux 5.10
исходные коды binutils
исходные коды пакетов из состава ОС **~700 пакетов**

Создан портал для разработчиков ПО, совместимого с платформой Эльбрус **dev.mcst.ru**

- удалённый доступ к серверам Эльбрус в формате контейнеров

- упрощённая форма запроса на удалённый доступ

- прямая связь с разработчиками МЦСТ

Сайт независимого сообщества разработчиков **openelbrus.ru**

# Ориентация на технологический суверенитет

5 августа 2025 года

На первом этапе – после введения большого количества санкций – мы, конечно, занимались, и правильно делали, импортозамещением. Но, исключительно занимаясь импортозамещением и обратным инжинирингом так называемым, мы технологического лидерства не добьёмся.

Нам нужны собственные разработки и организация производства на собственных платформах. И сейчас у нас и уровень технологического развития, и состояние экономики позволяют это делать.

**Определение 4.** *Технологический суверенитет — это способность государства самостоятельно* определять *направления развития и использования технологий и технологических инноваций, которые влияют на его политический и экономический суверенитет.*

В узком смысле технологический суверенитет — это способность самостоятельно принимать решения о развитии и использовании технологий и технологических инноваций.

Technological Sovereignty as Ability, not Autarky, Munich Papers in Political Economy, Working Paper No. 03/2021

эльбрус