

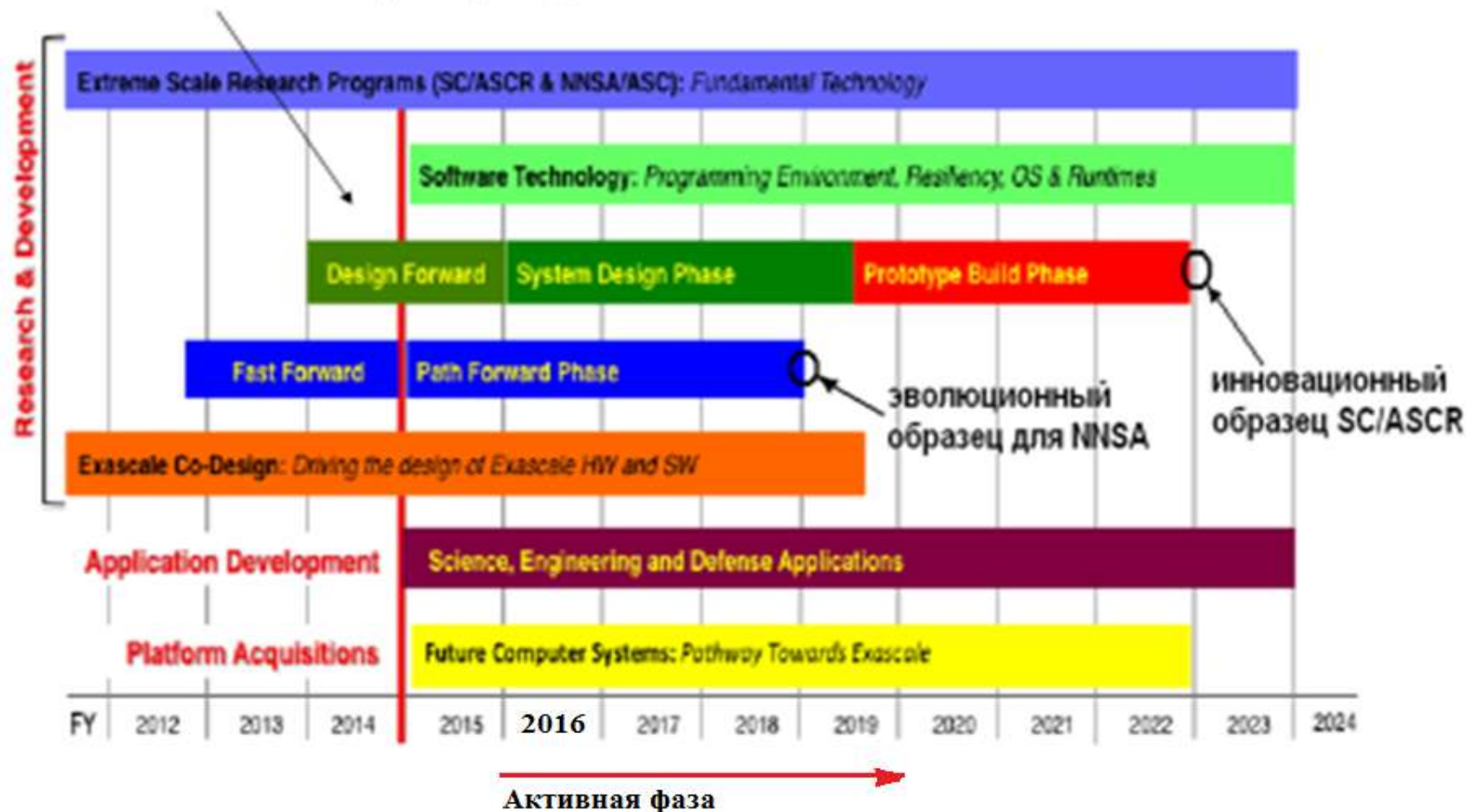
# **6-й Московский суперкомпьютерный форум (МСКФ 2015)**

**Начало активной фазы создания  
эксафлопсных суперкомпьютеров и вопросы  
развития отечественных технологий**

**Л.К.Эйсымонт  
(29 октября 2015 года)**

# Дорожная карта создания экзафлопсных суперкомпьютеров DoE США (2014 г)

- ORNL Titan, Cray XK7, 27 PF
- LLNL Sequoia, IBM BG/Q 20 PF
- ANL Mira, IBM BG/Q, 10 PF
- LBNL Edison, Cray XC30, 2 PF
- LANL Cielo, Cray XE6, 1.1 PF



# **Проекты зарубежных транспетафлопсных суперкомпьютеров и эволюционный экзафлопс**

# Проекты США

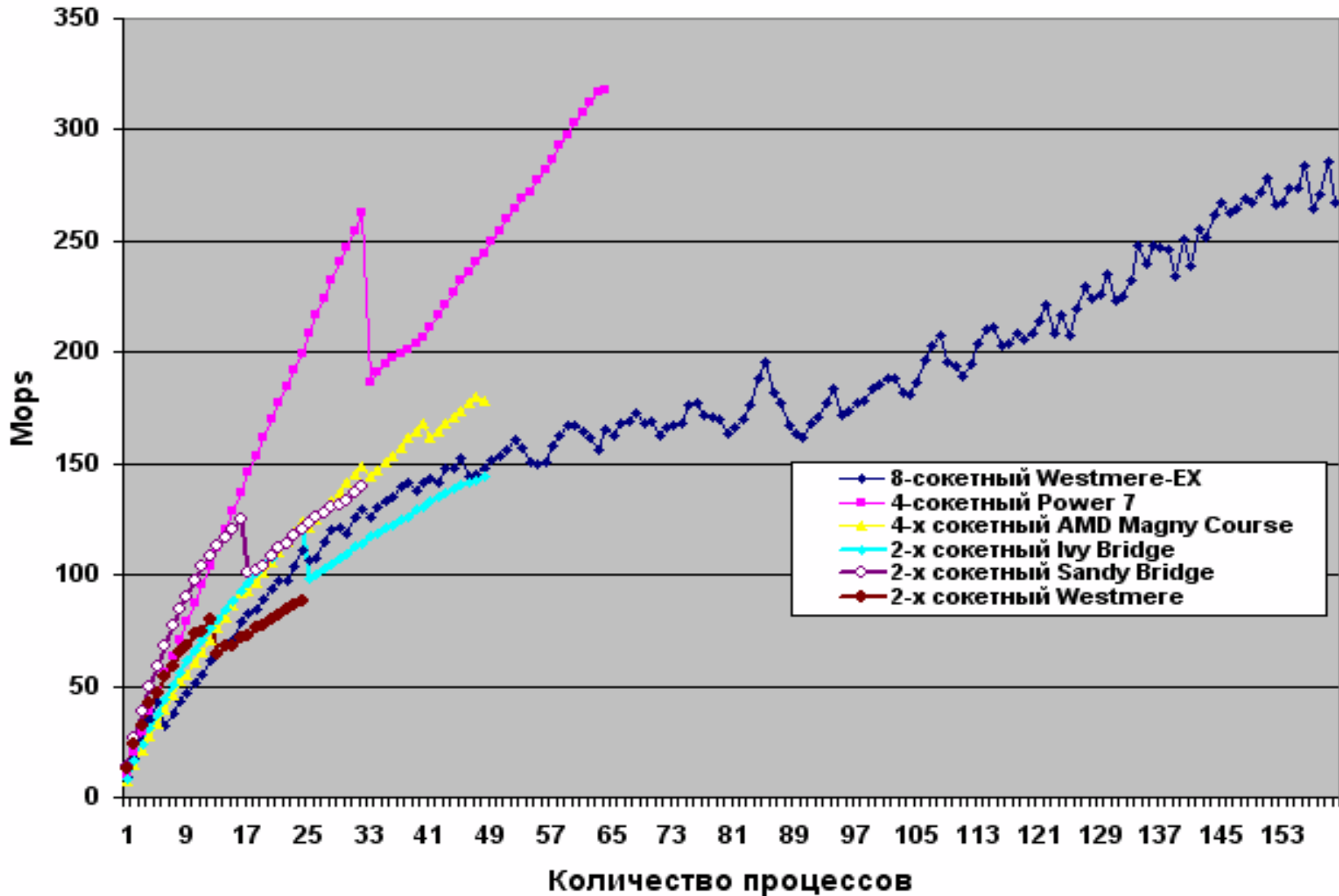
**ORNL - Summit, IBM&NVIDIA&Mellanox, 150-300 Пфлопс, 2017-2018,  
3400 узлов, 1.7 Пбайт, диски - 120 Пбайт, 10 MW,  
сеть - dial-rail Mellanox FDR Infiniband, Fat Tree,  
узел - несколько IBM Power9 и GPU NVIDIA Volta  
NVLink, HBM+DDR4 - 0.5 ТБ, NVRAM - 0.8 ТБ,  
40TF, 10 TF в соquete с Power9 + Volta (?)  
Power 9 - 10 нм, ? ядер, ? тредов  
Было - Power 8 - 22 нм, 12 ядер, 96 тредов, 0.5-0.7 TF  
Power 7 - 45 нм, 8 ядер, 32 тредов, 0.25 TF**

**LLNL - Sierra, 100+ Пфлопс, остальное типа Summit**

**ANL - Aurora, Cray&Intel, 180 Пфлопс,  
Xeon Knight Landing, сеть Intel OmniPath**

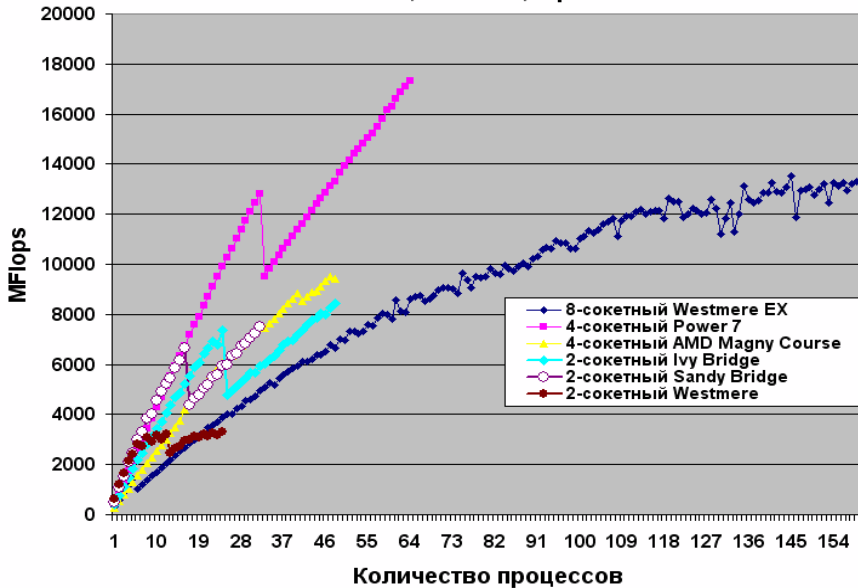
# IBM Power 7 - тест UA (класс C)

Тест UA, класс C, OpenMP

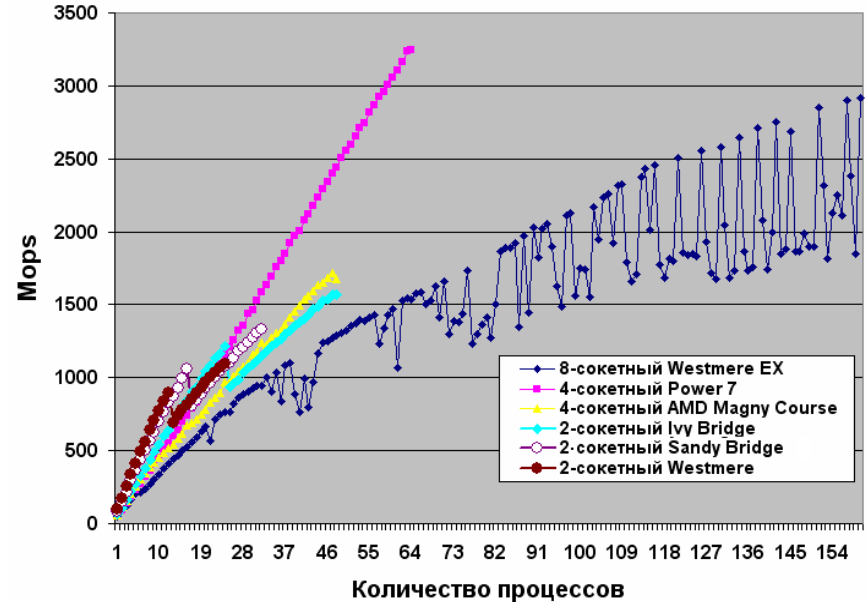


# IBM Power 7 - тесты CG, IS, MG, BT

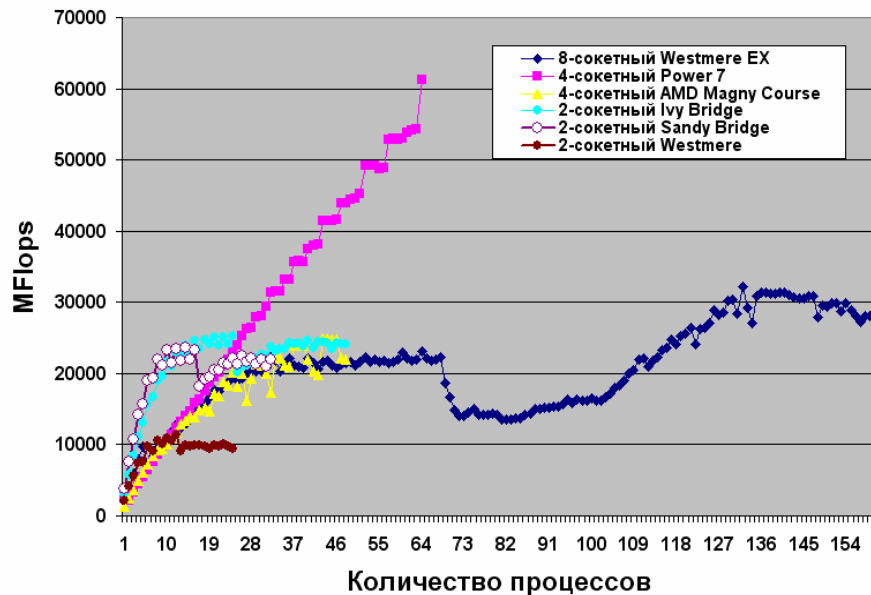
Тест CG, класс C, OpenMP



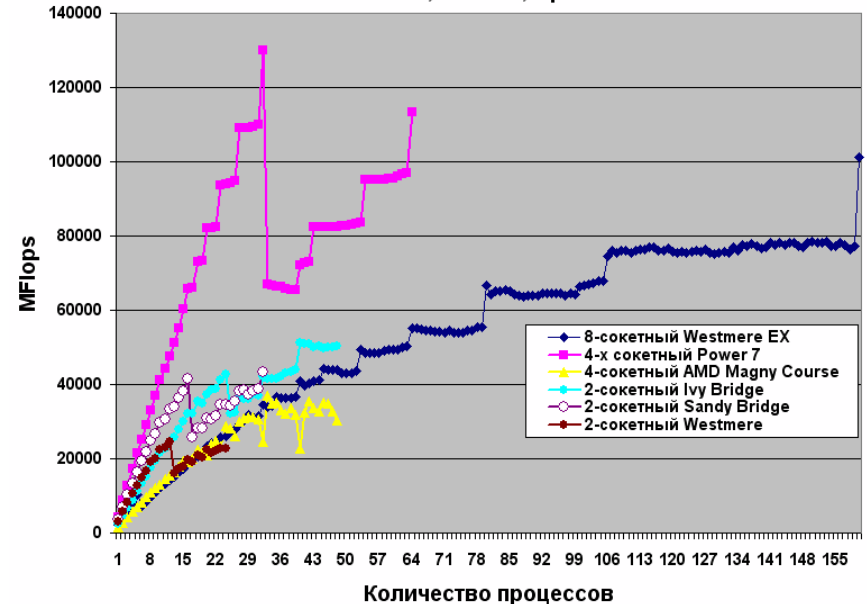
Тест IS, класс C, OpenMP



Тест MG, класс C, OpenMP



Тест BT, класс C, OpenMP



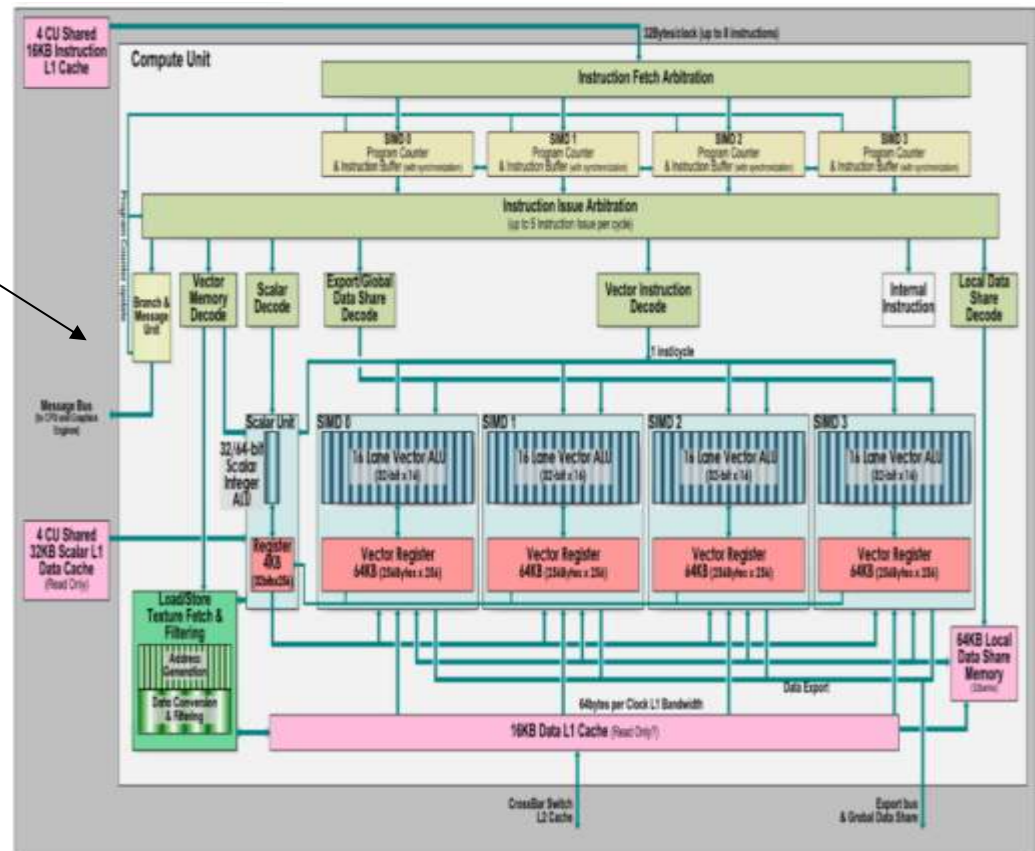
# GPU AMD Fiji – “тяжелые” ядра мультитредово-векторного типа



- 28 нм
- 1.05 GHz
- 64 ядра (4096 FPU)
- пиковая производительность - 8.9 Тфлопс (float)
- пропускная способность HBM - 512 ГБ/с (4x1024x1GHz)
- потребление 256 Вт
- кристалл - 1011 мм<sup>2</sup>
- 8.9 млрд.транзисторов
- удельные показатели - 32.4 Гфлопс/Вт
- 8.8 Гфлопс/мм<sup>2</sup>
- 0.272 Вт/мм<sup>2</sup>

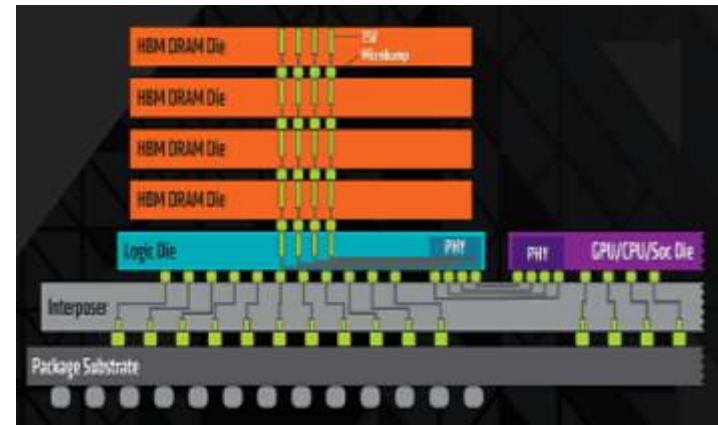
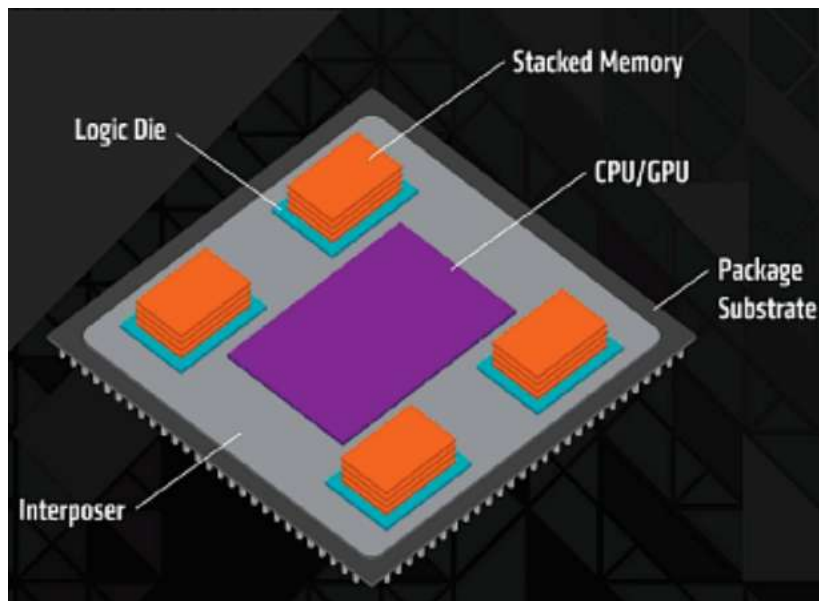
## Одно вычислительное ядро (CU):

- 64 арифметических устройства (4 x 16 лэйнов);
- один скалярный процессор;
- 256 тредов;
- тред - 8 скалярных регистров (32-х разрядных)  
8 векторных регистров от 8 до 64 элементов (32-х разрядных)



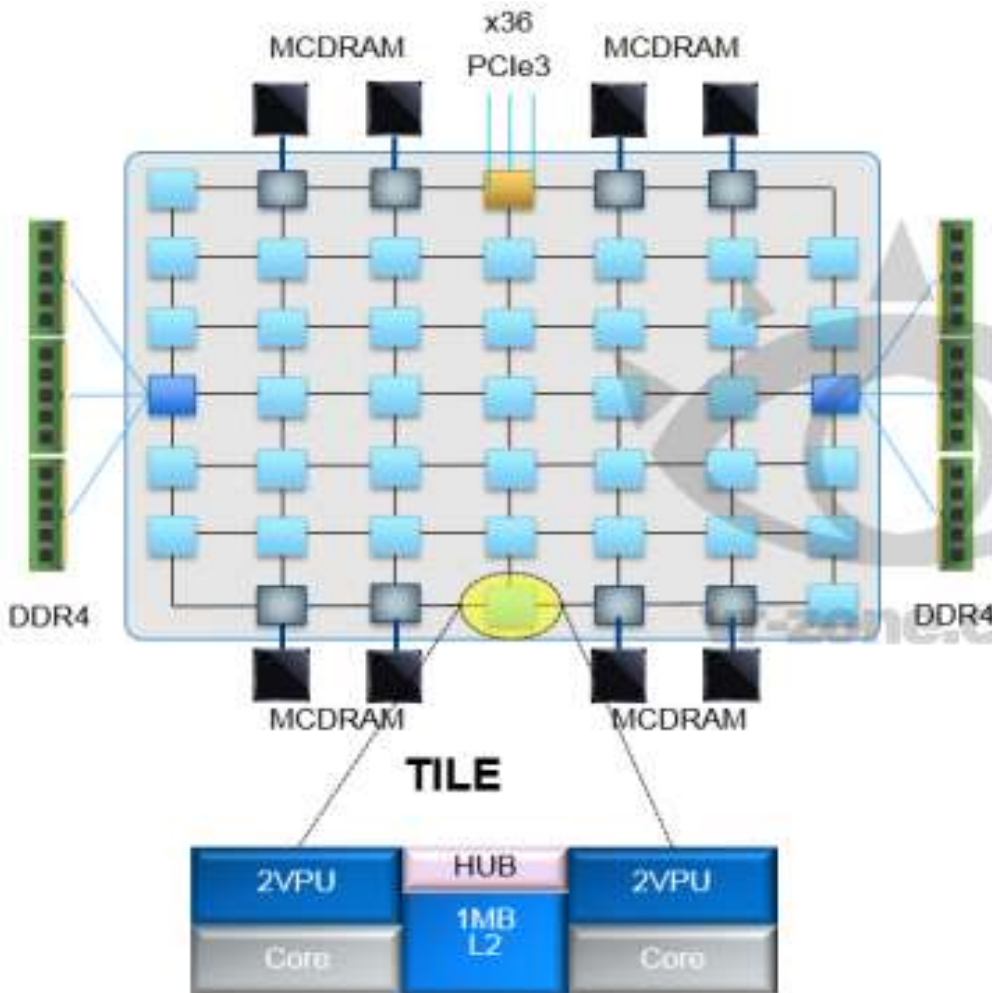


# GPU AMD Fiji – встроенные в корпус 3D-модули памяти





# Many-Core – микропроцессор Knights Landing с “легкими” ядрами и SIMD AVX-512



Up to 72 Intel Architecture cores based on Silvermont (Intel® Atom processor)

- Four threads/core
- Two 512b vector units/core
- Up to 3x single thread performance improvement over KNC generation

Full Intel® Xeon processor ISA compatibility through AVX-512 (except TSX)

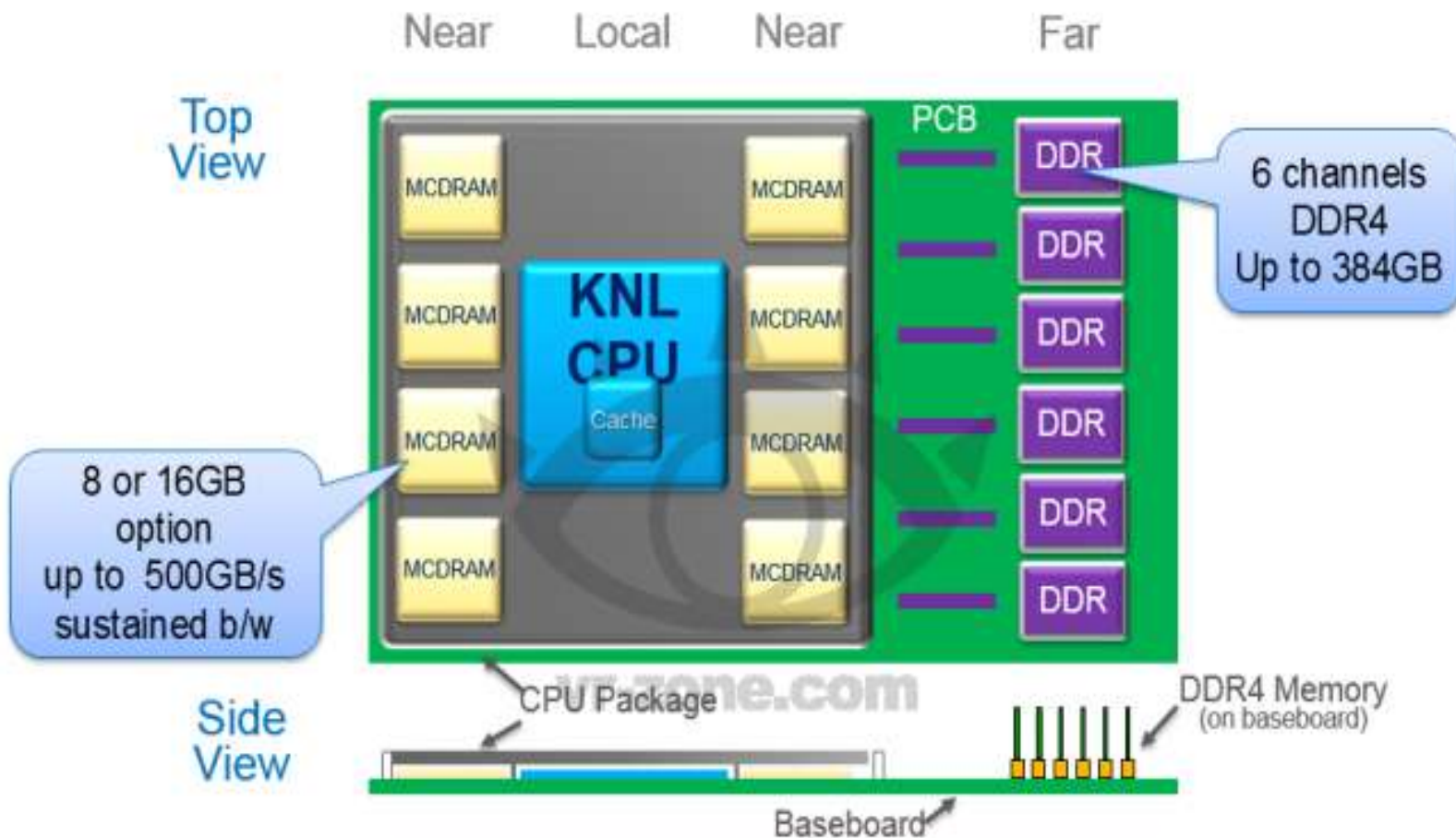
6 channels of DDR4 2400 MHz -up to 384GB

36 lanes PCI Express\* Gen 3

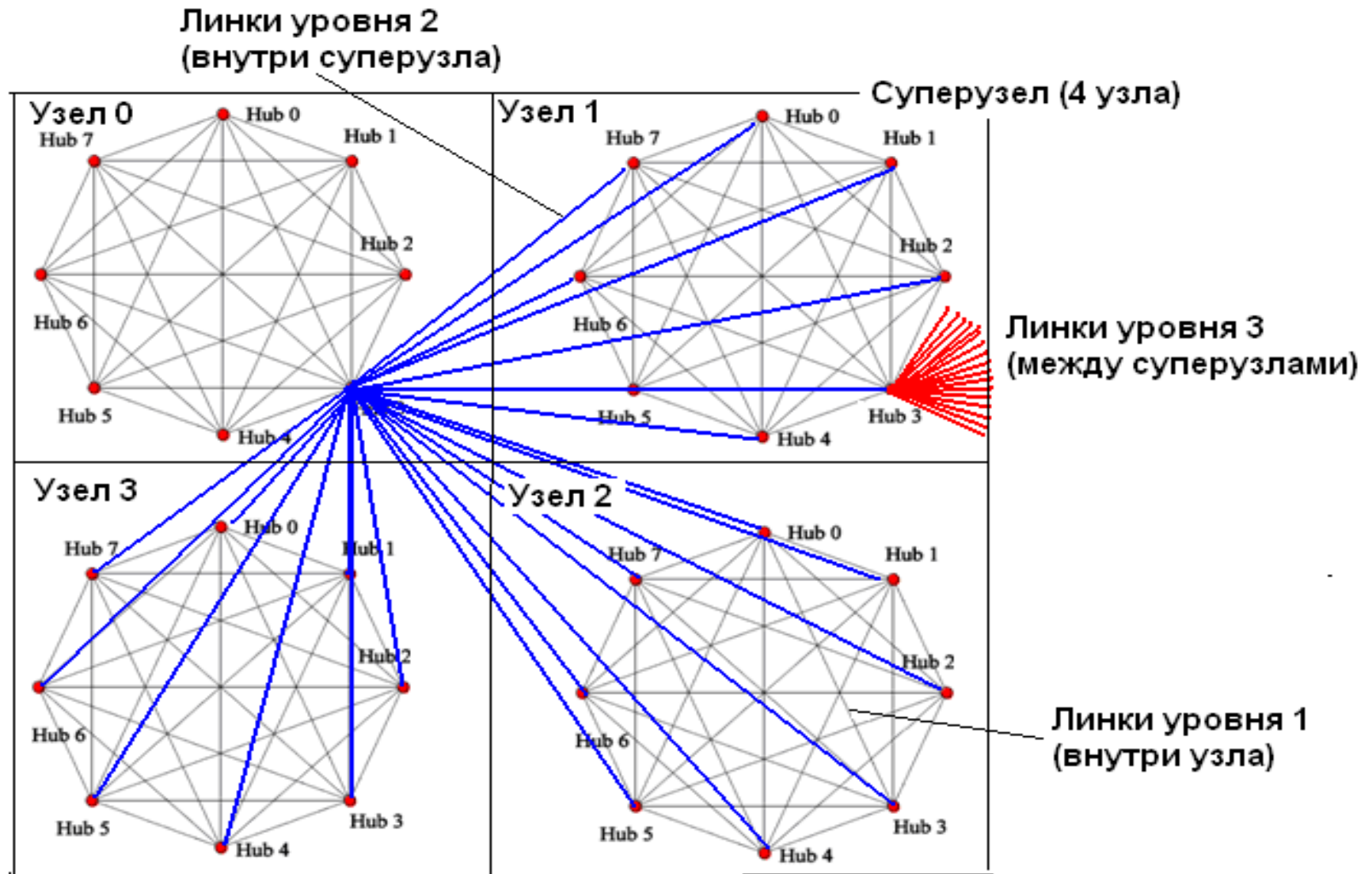
8/16GB of high-bandwidth on-package MCDRAM memory >500GB/sec

200W TDP

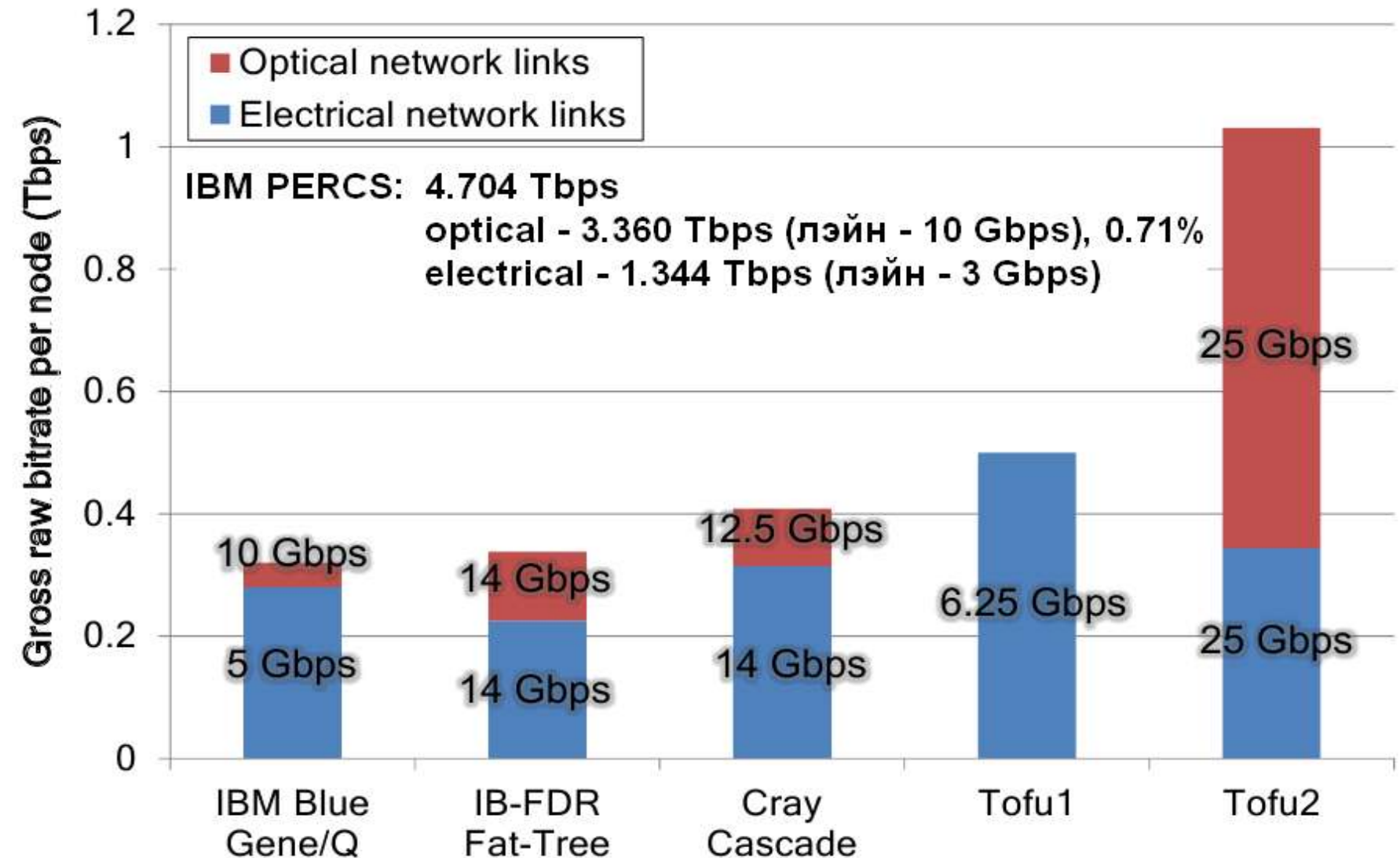
# Встроенные в корпус микропроцессора Knights Landing 3D модули памяти



# Многоуровневая сеть PERCS суперкомпьютера Power 775

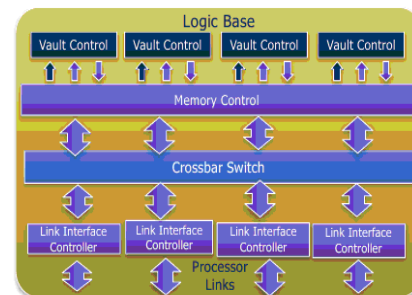
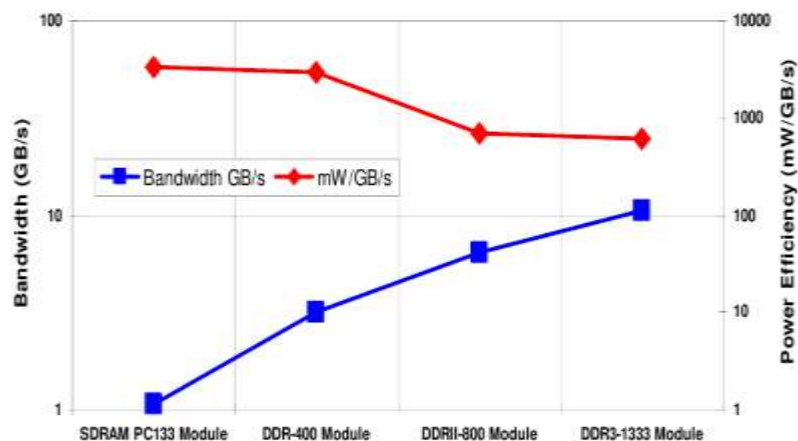


# Сравнение пропускных способностей лэйнов, маршрутизаторов

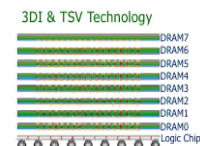
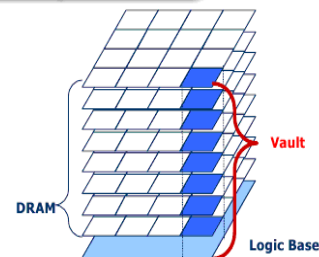




# НМС - 3D модули памяти фирмы Micron

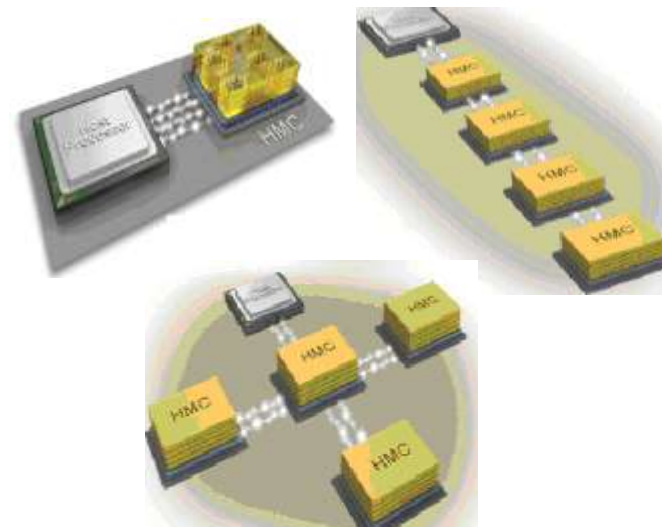


Добавляется улучшенный коммутатор, оптимизированное управление ячейками памяти и простой интерфейс с процессором



## Highest Performance and Most Energy Efficient DRAM Memory in the Industry

Technology	VDD	IDD	BW GB/s	Power (W)	mW/GB/s	pJ/bit
SDRAM PC133 1GB ECC Module	3.3	2.33	1.06	7.69	7226.50	903.31
DDR-333 1GB ECC Module	2.5	3.00	2.66	7.50	2815.32	351.91
DDRII-667 2GB ECC Module	1.8	2.89	5.34	5.20	974.89	121.86
DDR3-1333 4GB ECC Module	1.5	3.07	10.66	4.61	431.83	53.98
DDR4-2667 8GB ECC Module	1.2	2.83	21.34	3.40	159.17	19.90
GDDR5 Die	1.35	2.00	20.00	2.70	135.00	16.88
LPDDR2-1066 X32 Die	1.2	0.358	4.26	0.43	100.28	12.54
HMC Gen1 512MB Cube	1.2	6.04	128.00	7.97	82.23	7.78



# Проекты Японии

- Новый К-компьютер (Fujitsu&RIKEN)- ???

новое: микропроцессор SPARC - 32 ядра, пиковая производительность 1 Тфлопс

(был SPARC 8-ядерный, производительность 0.128 Тфлопс)лин

сеть Tofu-2 - линк 12.5 ГБ/с (было 5 ГБ/с)

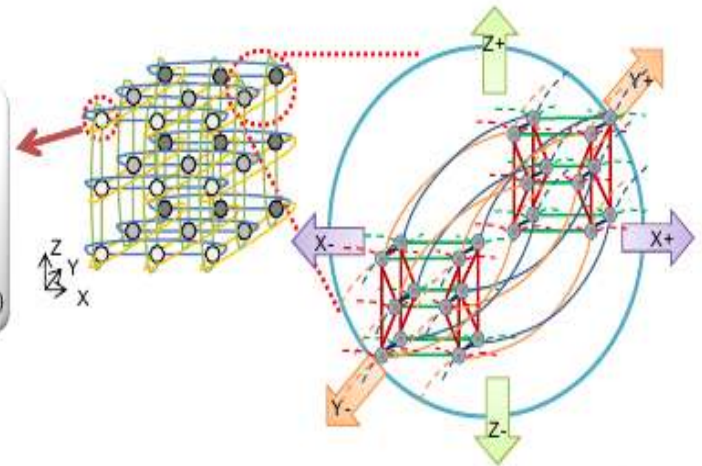
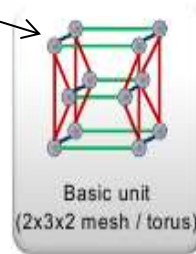
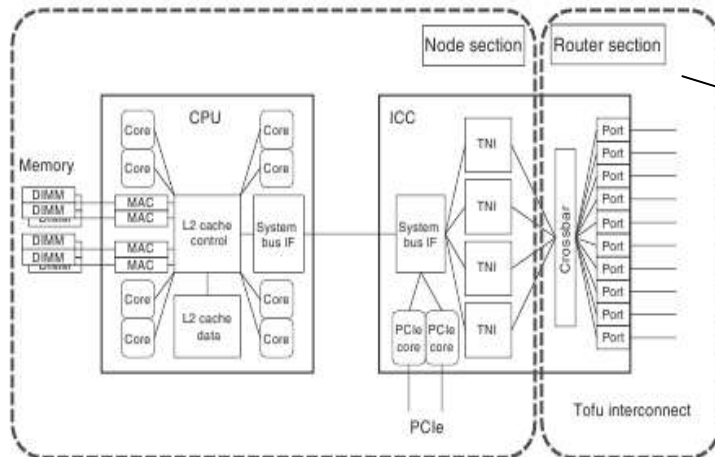
- Новый векторный суперкомпьютер на базе нового SX-ACE, 100 Тфлопс, 2018+,

25x10<sup>3</sup> узлов, память 12-25 Пбайт, 100-200 Пбайт/с BW, 20-30 MW

новое - новый SX-ACE, 1 Тфлопс (было 0.25 Тфлопс), баланс производительности

- пропускной способности памяти 2 В/Ф (было 1 В/Ф).

# Новая версия К-компьютера



## Chassis (12 CPUs)

- 1 CPU/1 node
- 12 nodes/2U Chassis
- Water cooled

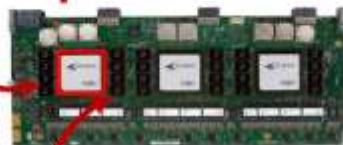
## SPARC64 Post-IXfx

- Wide SIMD 1-TF class multicore CPU
- HPC-ACE2 support
- Tofu2 integrated



## Cabinet

- Over 200 nodes/cabinet
- High-density
- 100% water cooled with EXCU (option)



## CPU Memory Board

- Three CPUs
- Eight HMCs (hybrid memory cube)
- Optical modules



## Tofu2 Interconnect

- Performance improvement
- Optical technology





# Векторный суперкомпьютер NEC SX-ACE

Rank	Site	Computer	cores	HPL (PFlops)	HPL Rank	HPCG (PFlops)	HPCG/HPL	HPCG/Peak
1	NSCC/Guangzhou	Tianhe-2 NUDT, Xeon 12C, 2.2 GHz + Xeon Phi 57C	3,120,000	33.9	1	0.632	1.5	1.1
2	RIKEN AICS	K Computer, SPARC64 VIIIfx 8C + Custom	705,024	10.5	4	0.461	4.4	4.1
3	DOE/OS Oak Ridge Nat Lab.	Titan, Cray XK7 AMD 16C + Kepler 14C + Custom	560,640	17.6	2	0.322	1.8	1.19
4	DOE/OS Argonne Lab.	Mira Bluegene/Q, Power BQC 16C 1.6GHz +Custom	786,432	8.59	5	0.167	1.9	1.7
5	Sewiss CSCS	Piz Daint Cray XC30, Xeon 8C + Kepler 14C +Custom	115,984	6.27	6	0.105	1.7	1.3
6	Leibniz Rechenzentrum	SuperMUC, Intel8C +IB	147,456	2.90	14	0.0833	2.9	2.61
7	DOE/OS L Barkley Nat Lab.	Edison XC30, Xeon 12C +Custom	133,824	1.65	24	0.0786	4.8	3.1
8	GSIC Center TITech	Tsubame 2.5 Xeon 6C +Keplar 20x +IB	76,032	2.78	15	0.073	2.6	1.3
9	MaxPlanck	iDataPlex Xeon10C+IB	65,320	1.28	34	0.061	4.8	4.2
10	CEA/TGCC-GENCI	Curie fine nodes Bullx B510 Xeon 8C +IB	77,184	1.36	33	0.051	3.8	3.1
11	Exploration and Production Eni	HPC2, Xeon 10C + Kepler 14C +IB	62,640	3	12	0.0489	1.6	1.22
12	Grand Equipnment National de Calcul	Occigen Xeon 12C	50,554	2.07		0.0448	2.8	2.2
13	U of Tokyo	Oakleaf-FX SPARK64 16C +Tofu	76,800	1.043	36	0.0448	4.3	3.9
14	TACC	Stampede, Dell Xeon8C + Xeon Phi(61c) + IB	462,462	5.168	7	0.044	0.9	0.5
15	IFERC	Helios Xeon 8C+IB	70,560	1.24	30	0.0426	3.4	2.8
16	HWC U of Stuttgart	Hornet Cray Xeon	94,656	2.763	-	0.0391	1.4	1.0
17	Surf Sara	Cartesius Xeon	25,920	0.848	-	0.0195	2.3	1.8
18	Tohoku U Cyberscience	SX-ACE, 4C + IXS	2,048	0.123	-	0.0134	10.8	10.3

# Векторный микропроцессор NEC SX-ACE

## Scalar Processing Unit (SPU)

Скалярный процессор выбирает скалярные и векторные команды (выдача 4-х команд за такт)  
Блок диспетчеризации выдачи векторных команд выделен в VPU.

## Vector Processing Unit (VPU)

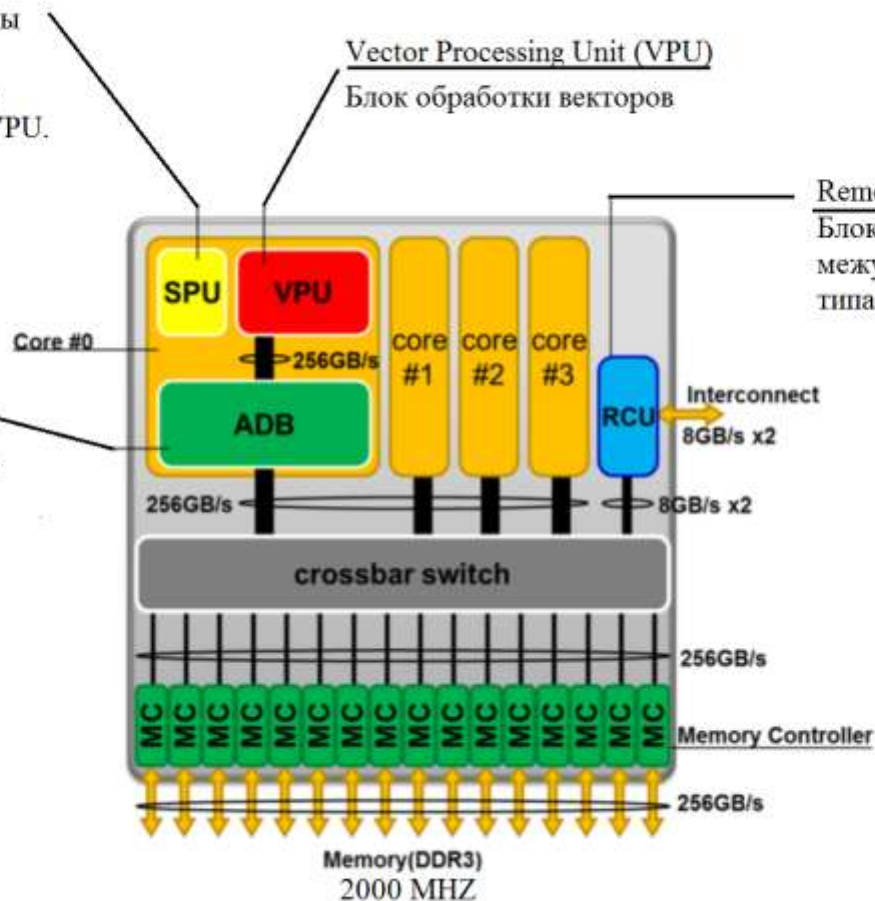
Блок обработки векторов

## Remote Access Control Unit

Блок связи с маршрутизатором межзудовой коммуникационной сети типа "жирное дерево"

## Assignable Data Buffer (ADB)

Программно управляемый кэш данных (4 way, 16 banks)  
Два независимых входа.

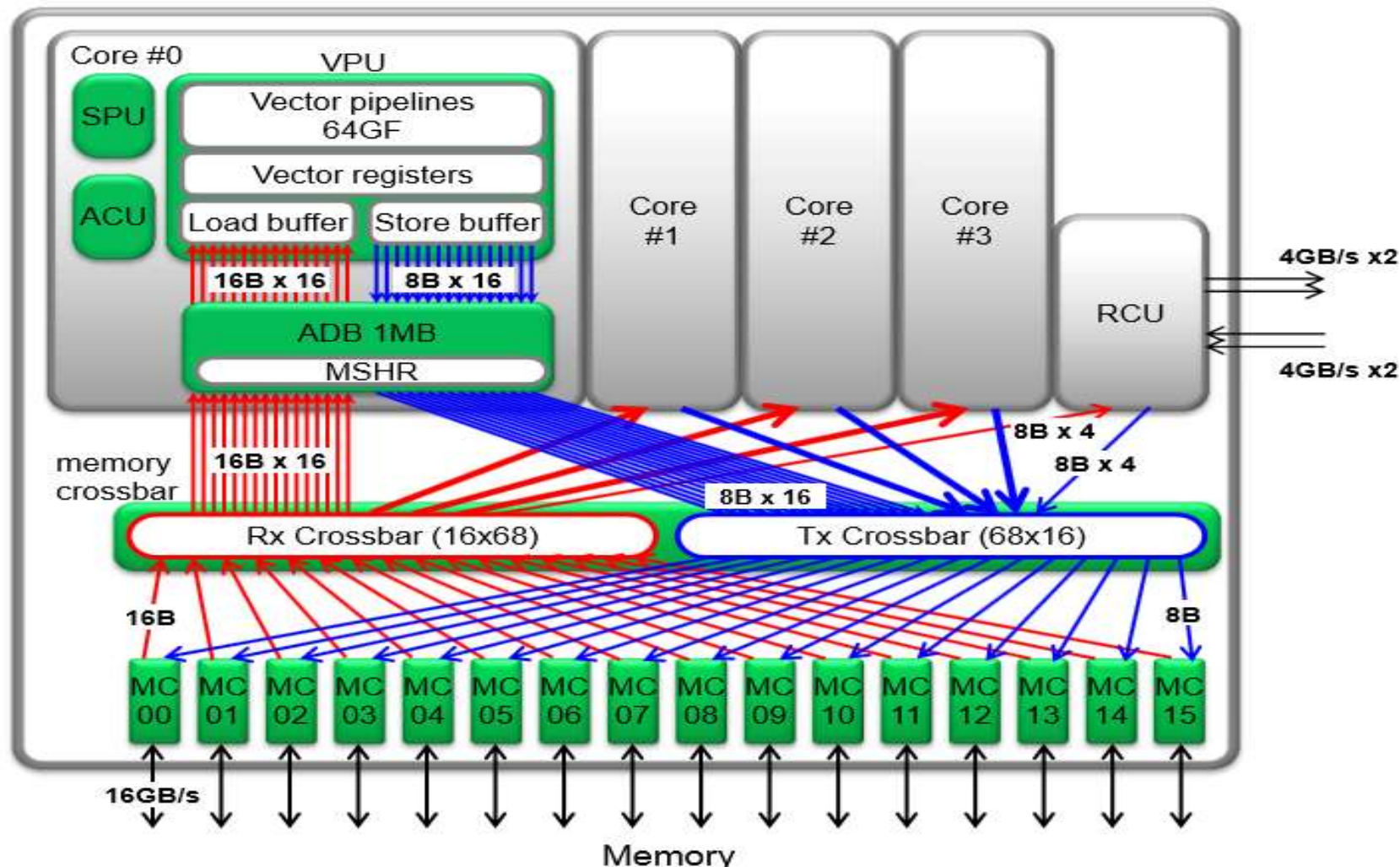


# Ядро векторного микропроцессора NEC SX-ACE

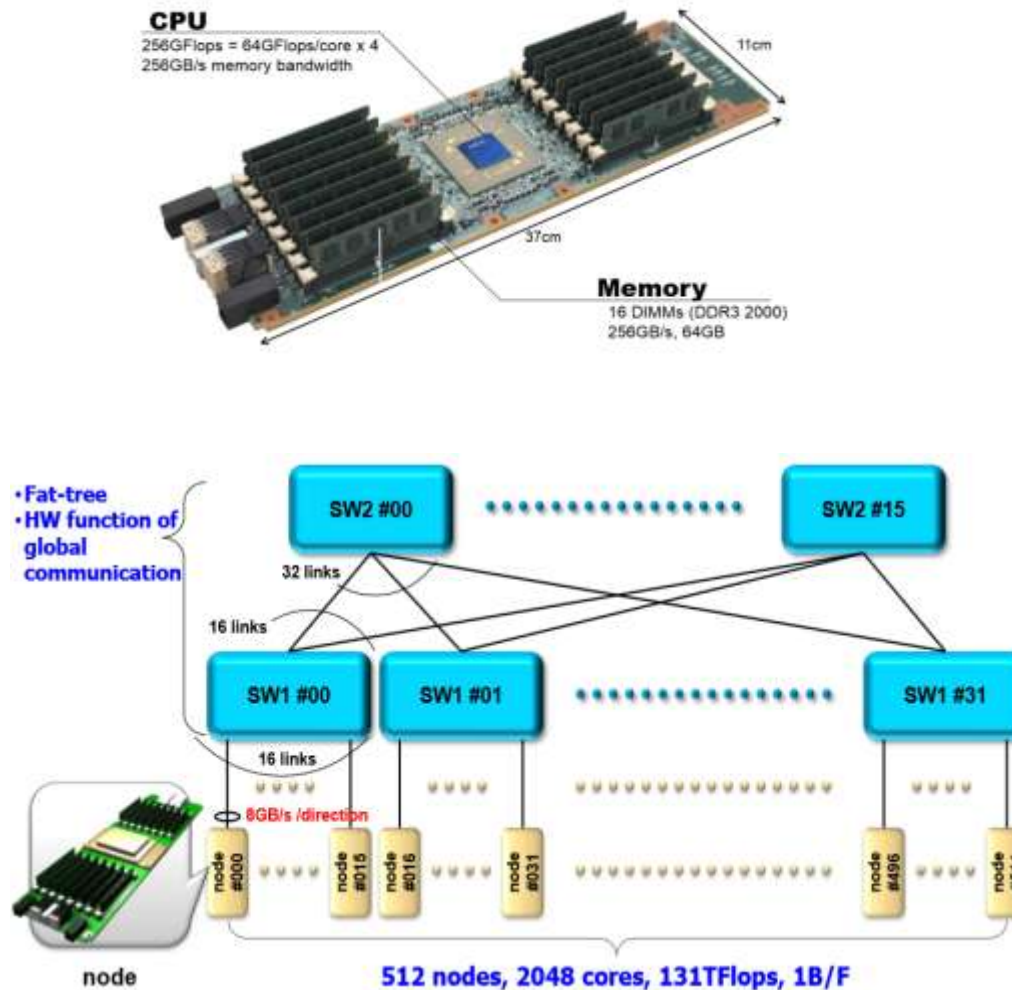




# Интерфейсы блоков микропроцессора NEC SX-ACE и интерфейс с внешней DDR\_памятью



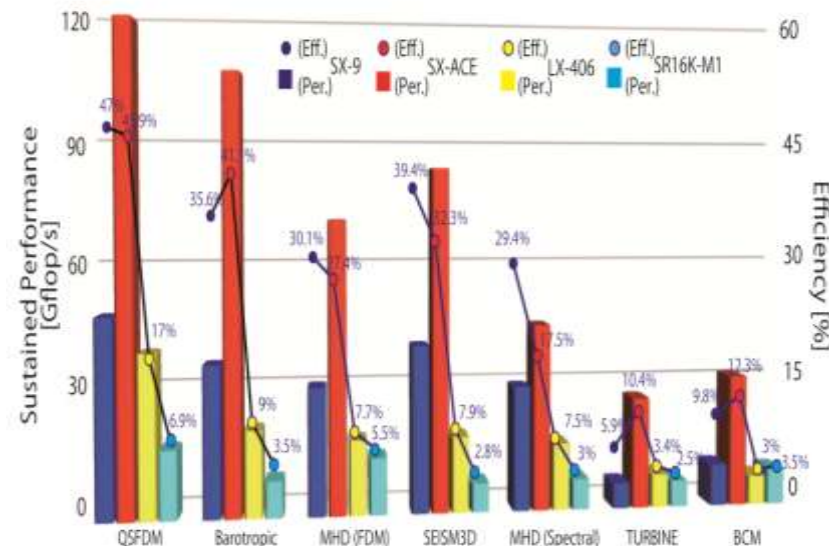
# Вычислительный узел и организация суперкомпьютера на базе микропроцессора SX-ACE



# Сравнительное оценочное тестирование процессоров SX-ACE, SX-9, Ivy Bridge, Power 7

Processor	Gflop/s/CPU's (Gflop/s/core, #. Cores)	Mem. GB/s	On-Chip Mem.	System B/F
SX-ACE	256 (64, 4 cores)	256	1MB ADB/core	1.0
SX-9	102.4 (102.4, 1 core)	256	256KB ADB/core	2.5
LX 406 (Ivy Bridge)	230.4 (19.2, 12 cores)	59.7	256KB L2/core 30MB shared L3	0.26
SR1600M1 (Power7)	245.1 (30.6, 8 cores)	128	256KB L2/core 32MB shared L3	0.52

Applications	Method	Memory access	Mesh Size	Code B/F	Actual B/F
QSFD GLOBE	Spherical 2.5D FDM	Sequential	$4.3 \times 10^7$	2.16	0.78
Barotropic	Shallow water model	Sequential	$4322 \times 2160$	1.97	1.11
MHD (FDM)	FDM	Sequential	$2000 \times 1920 \times 32$	3.04	1.41
Seism3D	FDM	Sequential	$1024 \times 512 \times 512$	2.15	1.68
MHD (Spectral)	Pseudospectral Method	Stride	$900 \times 768 \times 96$	2.21	2.18
TURBINE	DNS	Indirect	$91 \times 91 \times 91 \times 13$	1.78	5.47
BCM	Navier Stokes Equation	Indirect	$128 \times 128 \times 128 \times 64$	7.01	5.86



# **ЭКБ суперкомпьютеров: отечественная vs зарубежной**



# Сравнительные характеристики высокопроизводительных зарубежных и отечественных микропроцессоров

Характеристика	Зарубежные					Отечественные					
	2014			2015		ЗАО "МПСТ"			ЗАО "НПЦ "Модуль"	ГК "Т-платформы"	
Наименование	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тип	CPU	GPU	GPU	GPU	MCP	CPU	CPU	CPU	CPU +vect	CPU	CPU
Технология (нм)	22	28	28	28	14	90	65	28	28	28	28
Степени параллелизма потоков команд											
Количество ядер	10	44	15	256	72	2	4	8	21 + +vect	2	8
Количество тредов на ядро	2	10	64	256	4	1	1	1	1	1	1
Количество синхронных потоков в треле или ширина SIMD (разряды)	SIMD 256 p	64	32	SIMD 16x 32p	SIMD 2x 512 p	нет	нет	нет	SIMD 32x 64 p	SIMD 128 p	SIMD 128 p
Итого параллельных потоков команд	20	28160	30720	65536	288	2	4	8	21	2	8
Подсистема памяти											
Пропускная способность памяти (ГБ/с)	59.7	320	249.6	нет	120	12.8	38.4	51.2	32	12.8	34.1
Корпусированная с процессором 3D- память (ГБ/с (ГБ))	нет	нет	нет	512 (4)	500 (16)	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Пиковая производительность											
Гфлопс-64	240	1408	1430	н/д	3000	8	23	125	128	9.6	64
Гфлопс-32	480	5632	4291	8900	6000	16	46	250	512	19.2	128
Гопс-32	120	1408	4291	н/д	6000	8	23	104	16	24	128

1 – E5-2690 v2 (Ivy Bridge EP), 3 GHz  
 2 – AMD Radeon R9 290X Hawaii, 1 GHz  
 3 – NVIDIA Tesla K40, 0.745 GHz  
 4 – AMD Fiji  
 5 – Intel Knight Landing, 1.3 GHz

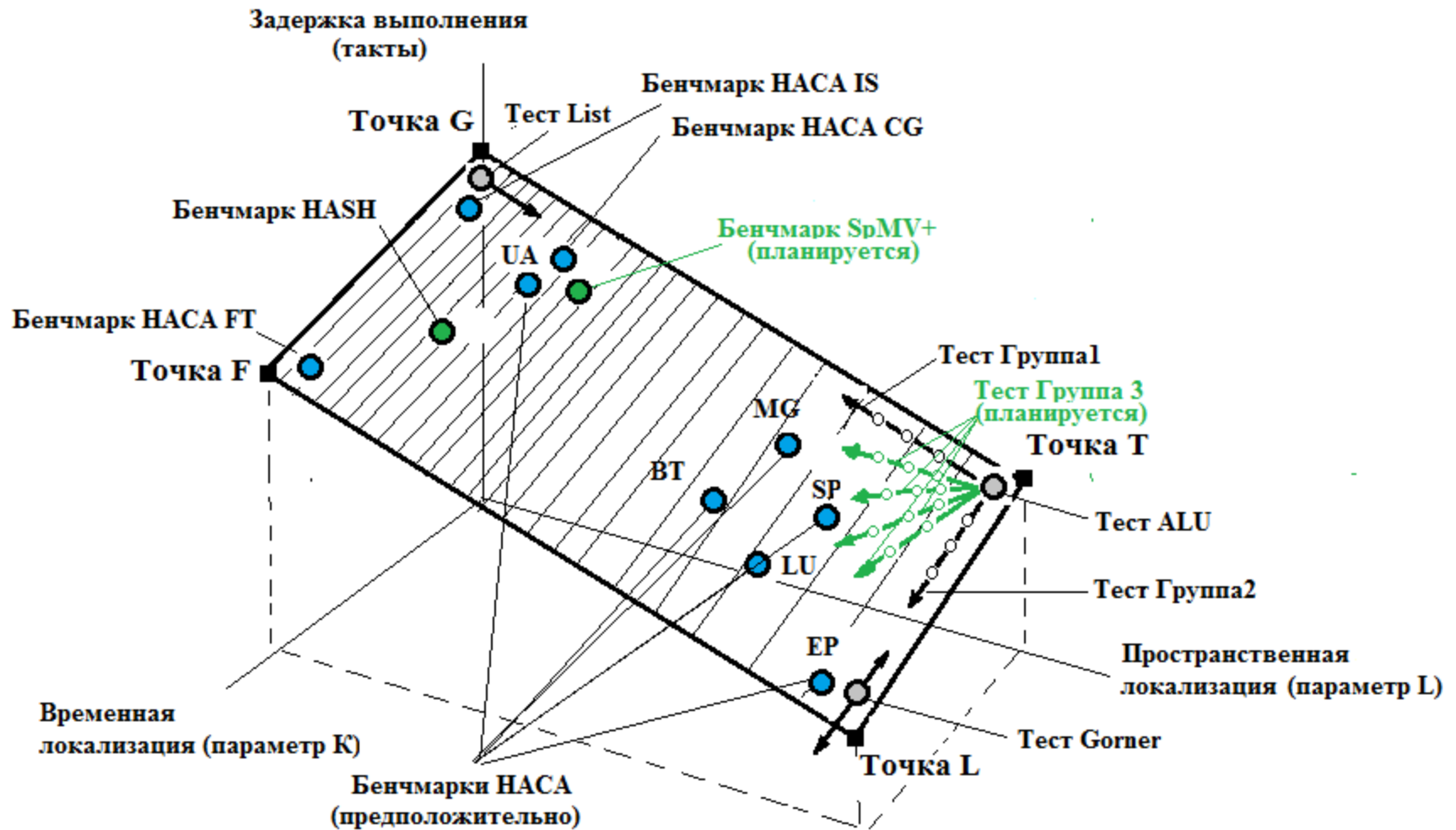
6 – Эльбрус-2С+, 0.5 GHz  
 7 – Эльбрус-4С, 0.72, GHz  
 8 – Эльбрус-8С, 1.3 GHz  
 9 – NM6408MP, 1GHz

10 – Байкал-Т, 1.2 GHz  
 11 – Байкал –М, 2 GHz

# Сравнительные характеристики зарубежных и отечественных коммуникационных сетей

Характеристика	Зарубежные				Отечественные
	Заказные (недоступные)			Коммерческие	Коммерческое
	Tofu-2 (Fujitsu)	PERCS (IBM)	Aries (Cray)	FDR Infiniband (Mellanox)	Ангара (ОАО “НИЦЭВТ”)
Топология	6D-тор	Иерархическая многосвязная	Иерархическая многосвязная	Толстое дерево	3D тор
BW интерфейса с маршрутизатором узла (ГБ/с)	20	96	16	16	8
Количество NIC- интерфейсов маршрутизатора ( коммутатора)	1	4	4	36	1
BW линия маршрутизатора (ГБ/с)	12.5	24 5 10	5.25 15.75 13.4	6.8	8.0
Общая BW линков маршрутизатора на узел (ГБ/с)	10 x 12.5 = 125	7 x 24 + 24 x 5 + 16 x 10 = 448	15 x 5.25 + 5 x 15.75 + 5 x 13.4 = 224	6.8 x 36 = 245	6 x 8.0 = 48

# Логика организации общего оценочного тестирования в экспертизе отечественной ЭКБ



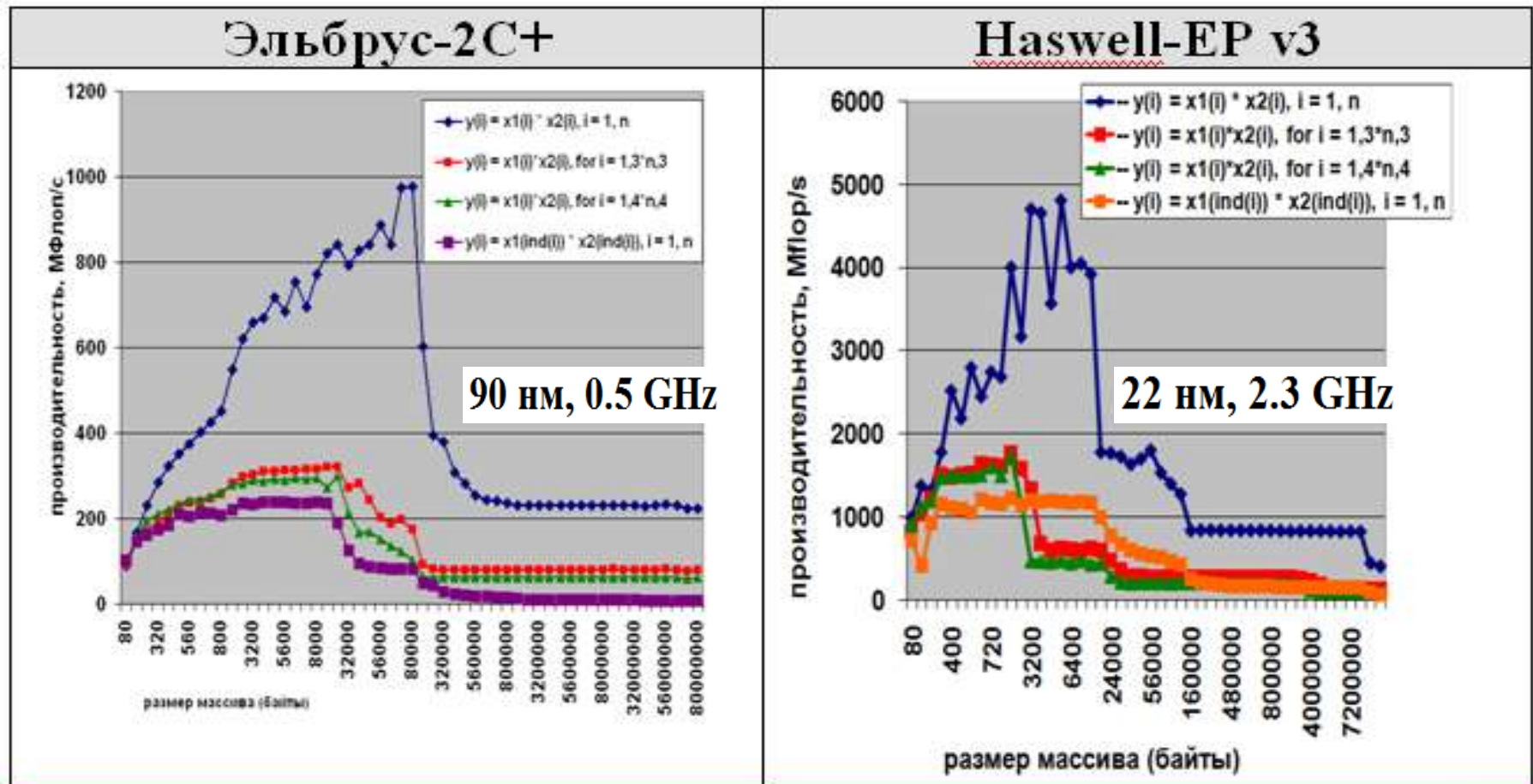
# Сравнение отечественной и зарубежной ЭКБ на тесте APX-мар

<u>Предельные точки пространственно- временной локализации</u>	<u>Процессор (такты)</u>			
	Эльбрус-2С+ 1891ВМ7Я 0.5 GHz (опт)	КОМДИВ 1890ВМ8Я 0.8 GHz	Е5-2660 Sandy Bridge 2.2 GHz	Е5-2689 Haswell-EP v3 2.3 GHz
G (наихудшая)	104.2	148.12	62.02	65.5
L (наилучшая)	0.5	5.16	2.87	0.39
T (хорошая <u>простр-я</u> )	0.74	11.76	3.27	1.75
F (хорошая временная)	12.5	12.62	8.2	5.91

<u>Предельные точки пространственно- временной локализации</u>	<u>Процессор (нсек)</u>			
	Эльбрус-2С+ 1891ВМ7Я 0.5 GHz (опт)	КОМДИВ 1890ВМ8Я 0.8 GHz	Е5-2660 Sandy Bridge 2.2 GHz	Е5-2689 Haswell-EP v3 2.3 GHz
G (наихудшая)	208.4	185.15	28.19	28.48
L (наилучшая)	1.0	6.45	1.3	0.17
T (хорошая <u>простр-я</u> )	1.48	14.7	1.48	0.76
F (хорошая временная)	25.0	15.78	3.73	2.57

<u>Предельные точки пространственно- временной локализации</u>	<u>Процессор (нсек)</u>			
	Эльбрус-2С+ (1891ВМ7Я) 0.5 GHz (с пересчетом на 2 ядра)		Е5-2689 Haswell-EP v3 2.3 GHz	
	одно ядро	два ядра	одно ядро	16 ядер
G (наихудшая)	208.4 (1)	104.2 (1)	28.48 (7.3)	4.49 (23.2)
L (наилучшая)	1.0 (1)	0.5(1)	0.17 (5.9)	0.0087 (57.5)
T (хорошая <u>простр-я</u> )	1.48 (1)	0.74 (1)	0.76 (1.9)	0.35 (2.1)
F (хорошая временная)	25.0 (1)	12.5 (1)	2.67(9.4)	0.36 (34.7)

# Чувствительность к факторам деградации производительности – Группа 1



$P_{base} = 1000$  (12.5%,  $P_{пик} = 8000$ )  
 $P_{min} = 7$  (0.08%)

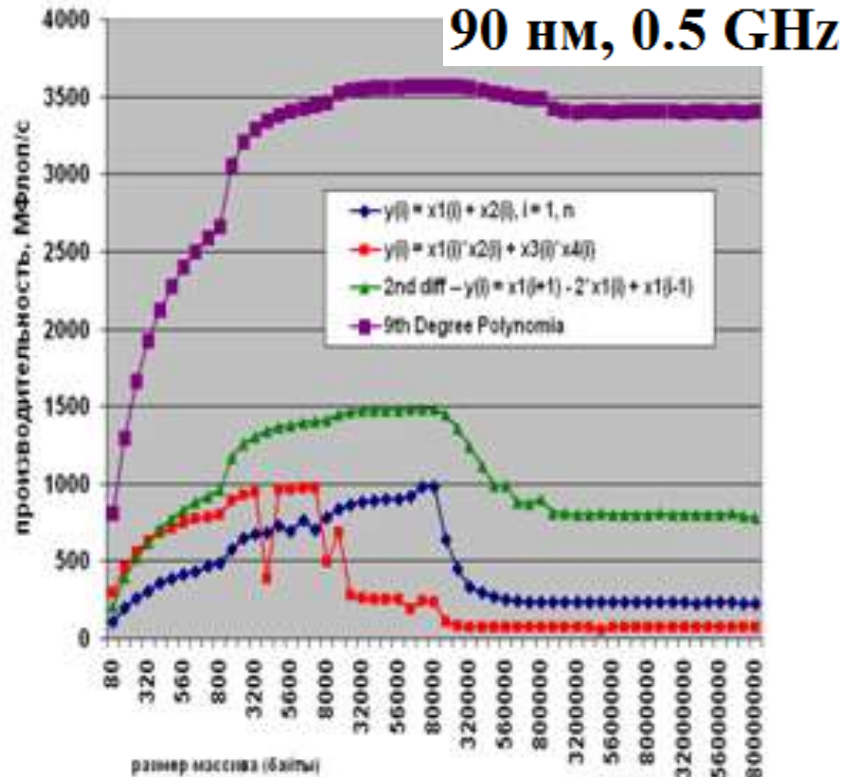
$P_{base} = 5000$  (14%,  $P_{пик} = 35800$ )  
 $P_{min} = 100$  (0.28%)



# Чувствительность к факторам роста производительности – Группа 2

## Эльбрус-2С+

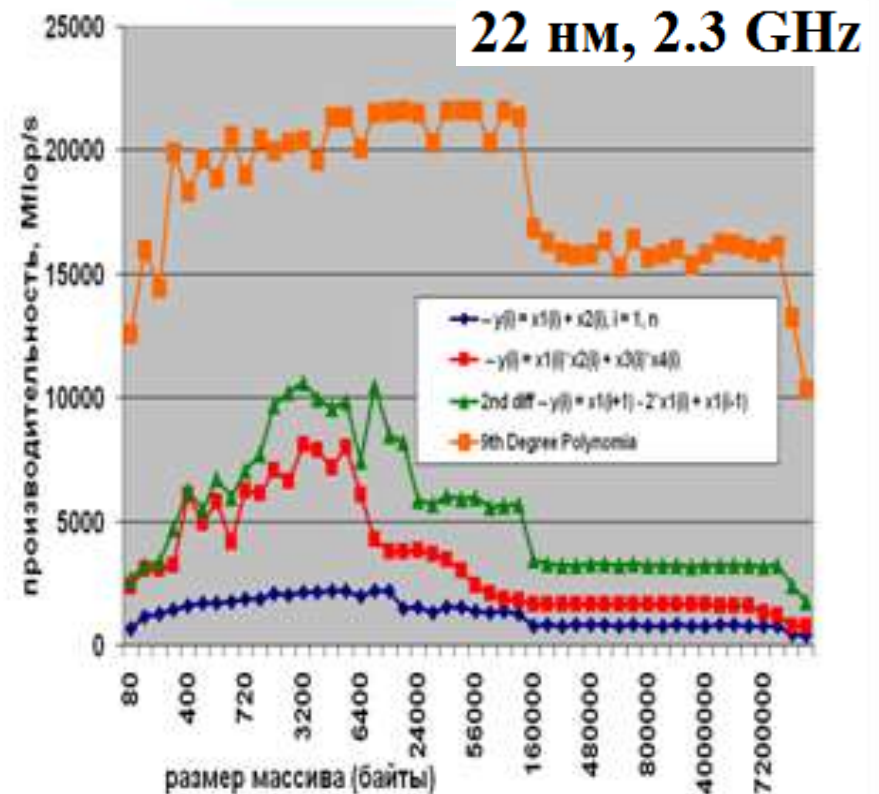
90 нм, 0.5 GHz



$P_{base} = 1000$  (12.5%,  $P_{пик} = 8000$ )  
 $P_{min} = 3500$  (43.8%)

## Haswell-EP v3

22 нм, 2.3 GHz



$P_{base} = 5000$  (14%,  $P_{пик} = 35800$ )  
 $P_{min} = 22000$  (61.5%)

# **Зарубежный инновационный экзафлопс**



# 10 актуальных проблем разработки экзафлопсных суперкомпьютеров в США

1. Энергоэффективность - создание энергоэффективных схем процессоров, маршрутизаторов коммуникационных сетей, технологий обеспечения питанием и технологий охлаждения.

2. Технологии соединений как внутри вычислительных узлов, так и между вычислительными узлами – увеличение производительности и сокращение задержек передачи данных, достижение энергоэффективности в линиях связи коммуникационных сетей и интерфейсах, наиболее важный показатель – снижение энергопотребления и повышения быстродействия обращений к памяти удаленных узлов (RDMA).

3. Технологии оперативной памяти – интеграция новых улучшенных технологий памяти для повышения емкости при повышении плотности размещения запоминающих элементов и сокращения их стоимости, снижение задержек выполнения операций с памятью, повышение их сложности и локализации, повышение пропускной способности даже для обращений с большой мелкозернистостью, т.е. когда обращения происходят к небольшим участкам памяти, а не к блокам большого объема.

# 10 актуальных проблем разработки экзафлопсных суперкомпьютеров в США

4. Создание масштабируемого (при увеличении параллелизма) системного программного обеспечения в виде операционных систем нового типа и систем поддержки выполнения программ (run-time систем), обеспечивающего высокий параллелизм уровня  $10^9$  (основной прирост, до трех порядков, ожидается непосредственно внутри вычислительного узла, а межузловой – на порядок), энергоэффективность за счет глубокого проникновения в управление работой оборудования и отказоустойчивость.

5. Системы программирования для пользователей – создание новых систем программирования, которые обеспечивают: создание эффективных с массовым параллелизмом программ, прозрачную для пользователя работу с иерархической глобально адресуемой памятью с обеспечением как эффективных удаленных обращений к памяти, так и локализацию данных при вычислениях и вычислений при данных; высокую многоуровневую отказоустойчивость.

6. Управление данными – создание хранилищ данных, программного обеспечения, которые бы справились с объемами и интенсивностью поступающих данных, их обработкой и хранением, ожидаемым разнообразием типов данных

# 10 актуальных проблем разработки экзафлопсных суперкомпьютеров в США

7. Создание экзамасштабных алгоритмов – переформулирование научных проблем и реконструирование или переработка алгоритмов их решения с целью эффективного выполнения на создаваемых суперкомпьютерах экзафлопсного класса.

8. Создания алгоритмов автоматизации принятия решений по получаемым на экзафлопсных суперкомпьютерах результатам, что связано с оптимизацией принятия инженерных решений при создании сложных технических изделий, извлечением знаний из результатов научных расчетов и поступающих данных от сенсоров и физических установок.

9. Обеспечение как отказоустойчивости, так и достоверности вычислений в условиях наличия сбоев и отказов оборудования, ошибок программ и информационных не повторяемости результатов вычислений.

10. Повышение продуктивности разработки прикладных программ.

# Прогноз производительности вычислительного узла до 2030 года

Year	Feature size	Derived parallelism	Stream parallelism	PIM parallelism	Clock rate GHz	FMA's	GFLOPS (Scalar)	GFLOPS (Stream)	GFLOPS (PIM)	Processor per node	Node (TFLOP)	Nodes per system	Total (PFLOPS)
2012	22	16	512	0	2	2	128	1,024	0	2	1	10,000	23
2020	12	54	1,721	0	2.8	4	1,210	4,819	0	2	6	20,000	241
2023	8	122	3,873	512	3.1	4	3,026	12,006	1,587	4	17	20,000	1,330
2030	4	486	15,489	1,024	4	8	31,104	61,966	8,192	16	101	20,000	32,401

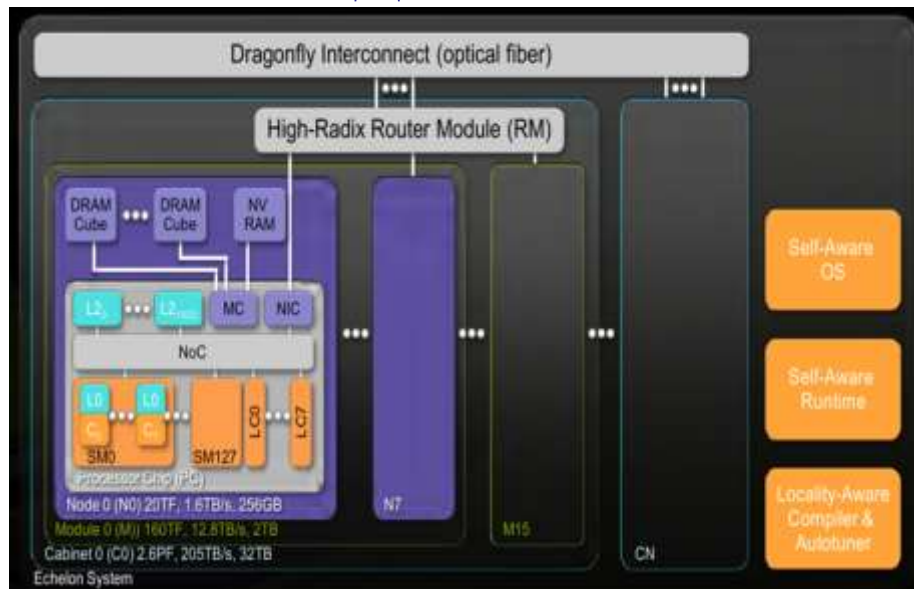
↑  
суперскалярные  
ядра

↑  
процессорные  
ядра, встроенные  
в модули памяти  
(PIM-processor in  
memory)

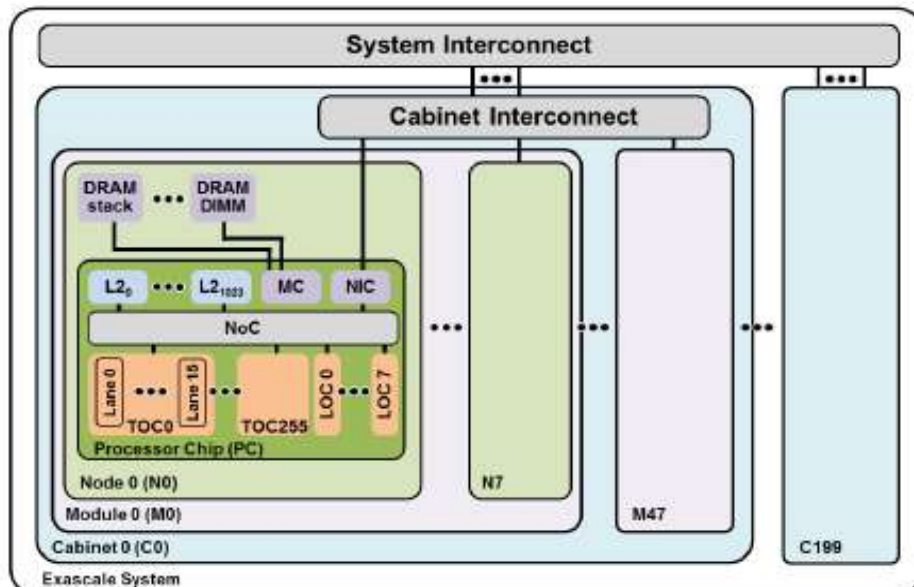
↑  
поточковые ядра, типа CUDA-ядер  
GPU

32.4 эксафлопса

# Суперкомпьютер Echelon (NVIDIA) – видение 2012 и 2014 годов

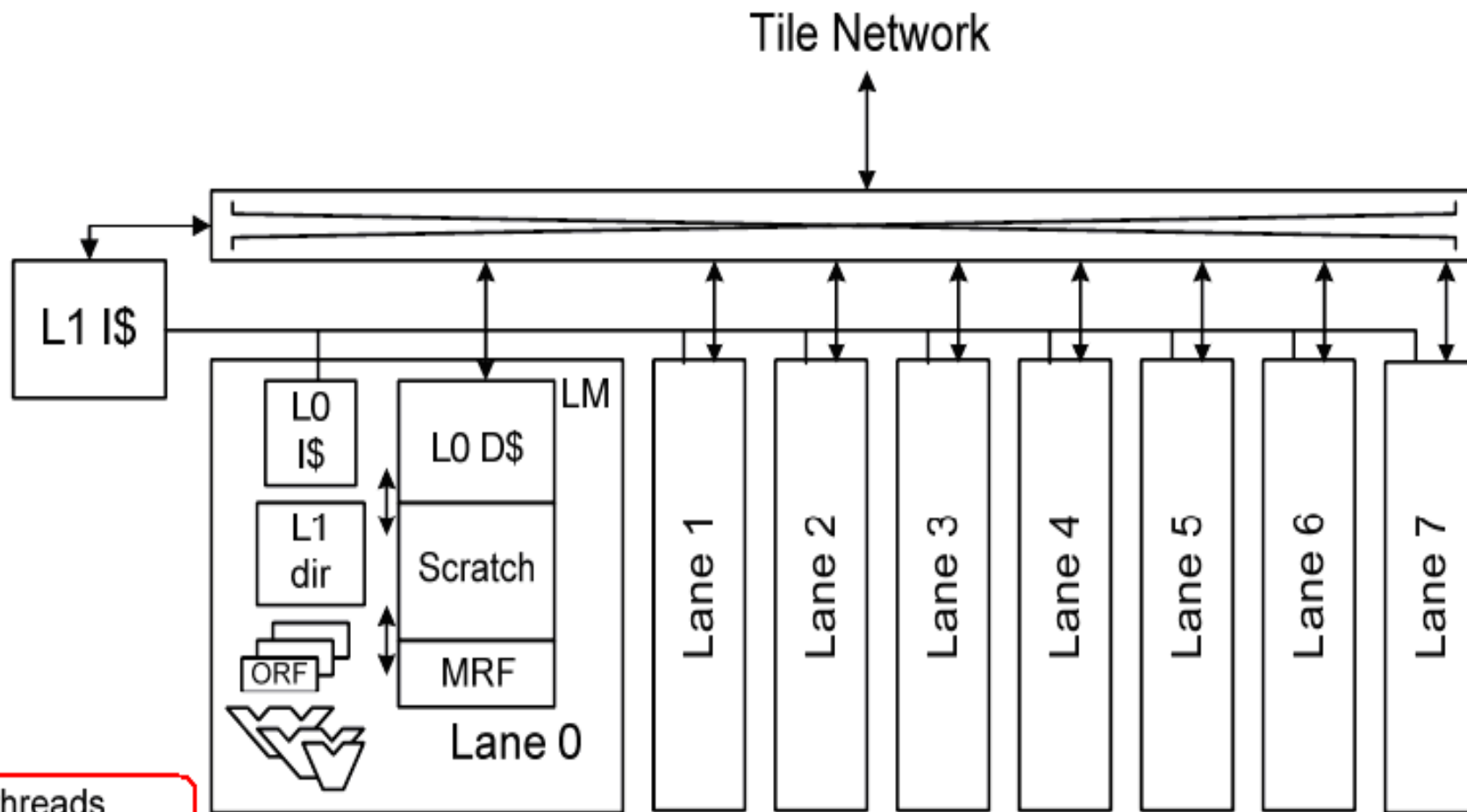


Node Configuration	
Technology	7nm
Number of TOCs	512
Number of LOCs	8
LOC Maximum IPC	3.0
DP ALU per TOC	16
DP ALU Total	8,192
L2 per TOC	256 KB
Total L2	128 MB
Memory Controllers	64
Total Memory BW	4 TB/s
NIC Bandwidth	100 GB/s
LOC Frequency	2 GHz
TOC Frequency	1 GHz
TOCs Total DP Perf.	16 TFlops
Processor Area	650 mm <sup>2</sup>
Processor peak power	230 W



Exascale System Configuration	
Number of Cabinets	200
Nodes per Cabinet	384
Number of Nodes	76,800
Number of Network Slices	4
Total Router Count	19,200
Peak DP PetaFlops	1,258
Max Node Power	300 W
Max System Power	23 MW

# Структура SM-ядра



512 threads

32 active threads

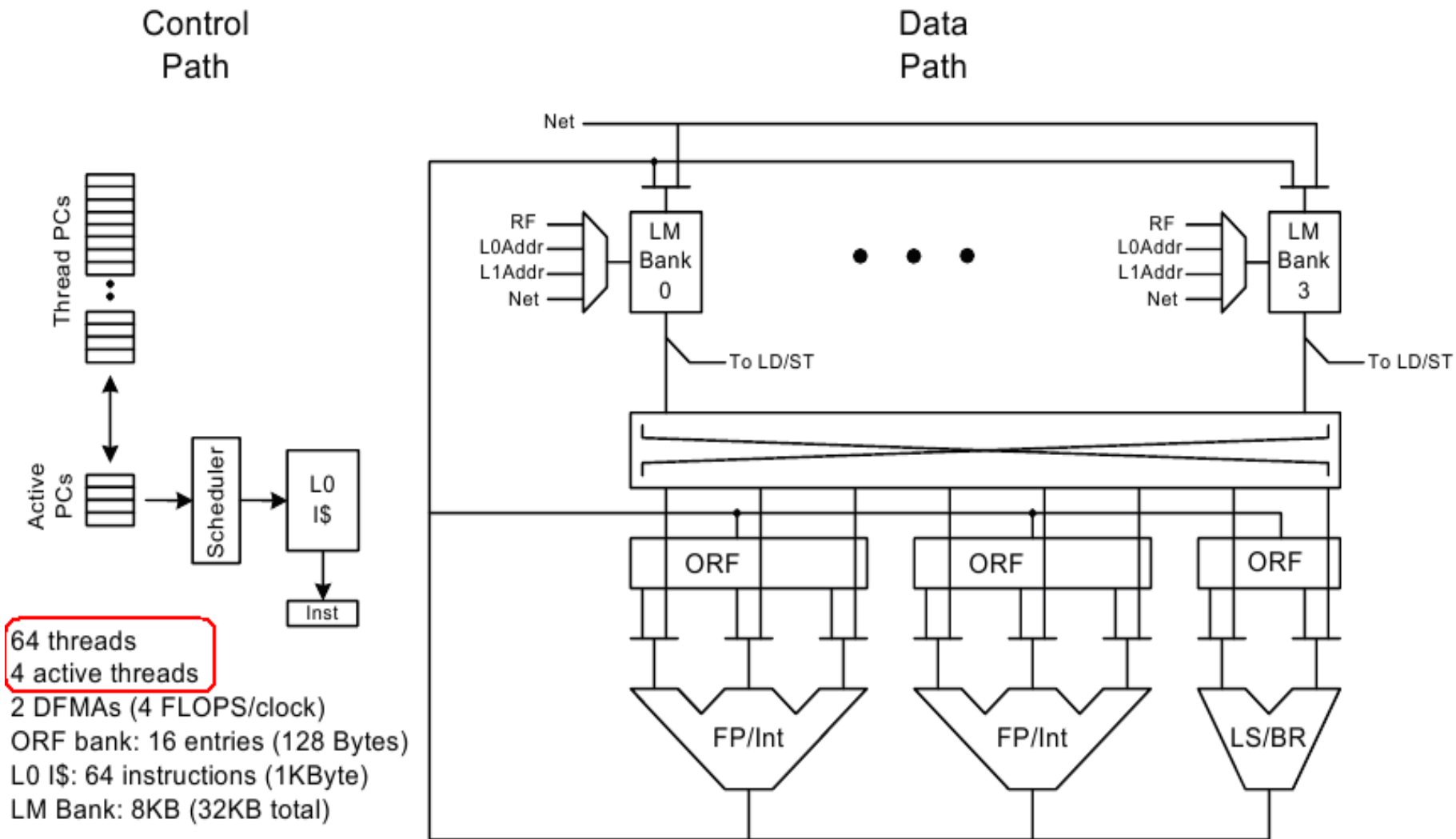
16 DFMAs (32 FLOPs/clock)

L1 I\$: 2K instructions (32KB)

RF/Scratch/D\$: 256KB

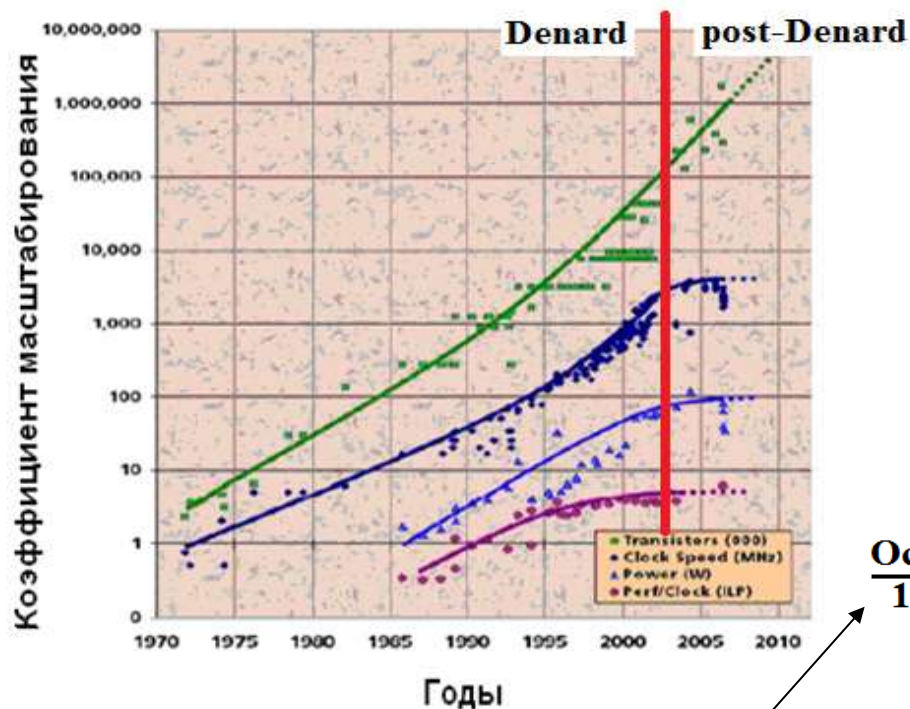
L0 caches in other lanes form L1 cache

# Полоса обработки (Lane) SM-ядра





# Проблема темного кремния



$$P = QfCV^2 + VI_{leakage}$$

Transistor property	Dennard	Post-Dennard
$\Delta$ Quantity	$S^2$	$S^2$
$\Delta$ Frequency	$S$	$S$
$\Delta$ Capacitance	$1/S$	$1/S$
$V_{DD}^2$	$1/S^2$	1
$\Rightarrow \Delta$ Power = $\Delta QFCV^2$	1	$S^2$ !!!
$\Rightarrow \Delta$ Utilization = $1/\text{Power}$	1	$1/S^2$

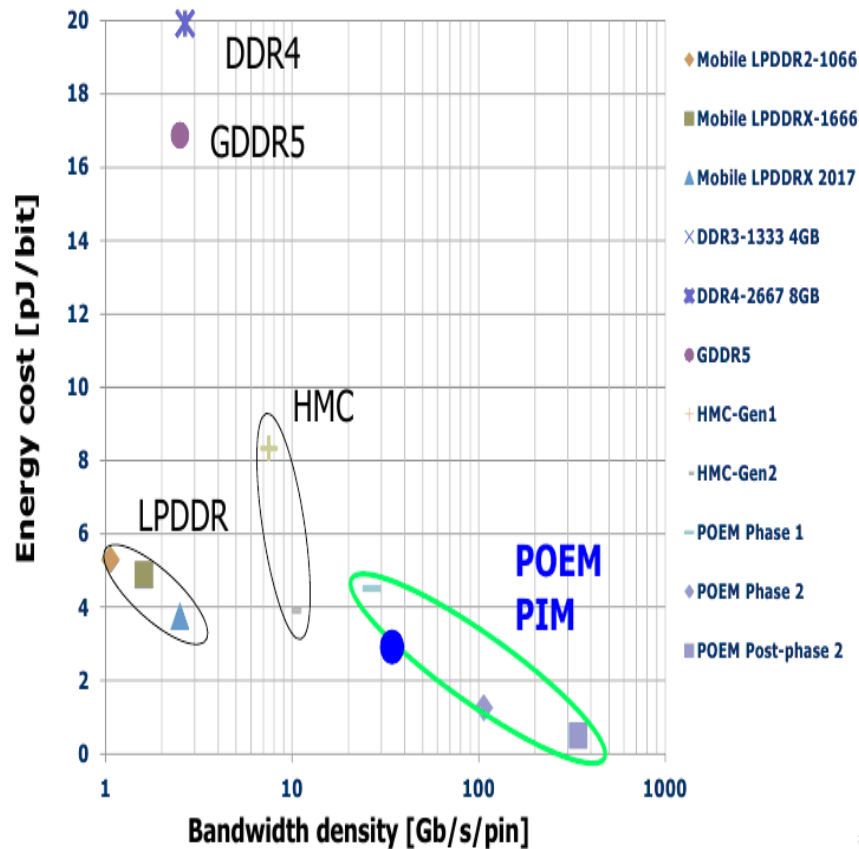
## Основные вызовы (задачи)

1. Гетерогенная архитектура - проблема выбора решений по сочетанию разных ядер и ускорительных блоков.
2. Проблема выбора внутрикристалльной сети со свойством адаптируемости соединений ядер и блоков в зависимости от температурных условий.
3. Динамическое управление потребляемой энергией и распределением температур на кристалле.
4. Обеспечение надежности и предсказуемости поведения схем, обеспечения толерантности к нестабильности и ошибкам технологических процессов.
5. Автоматизация решения проблемы темного кремния в САПР.

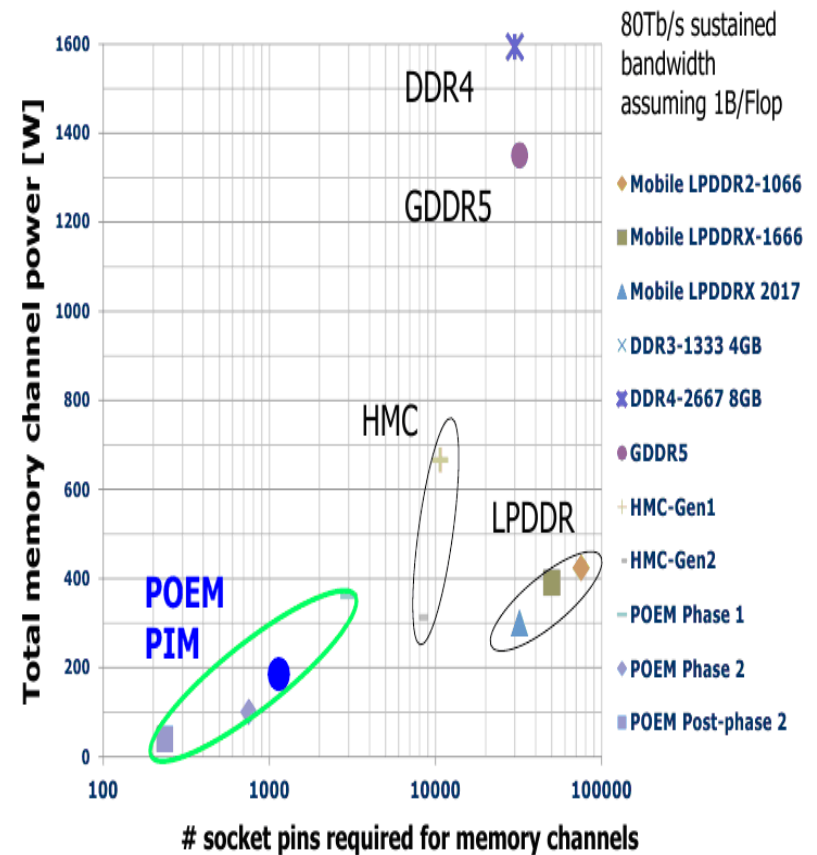
## Стратегические направления решения проблемы:

- гетерогенность;
- адаптируемость.

# Проблема 3D модулей памяти



Передача одного бита - энергетические затраты и пропускная способность



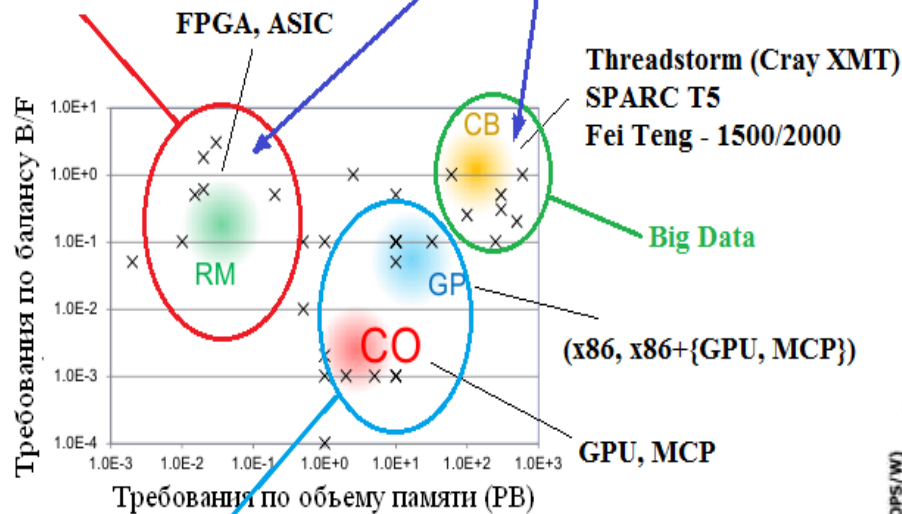
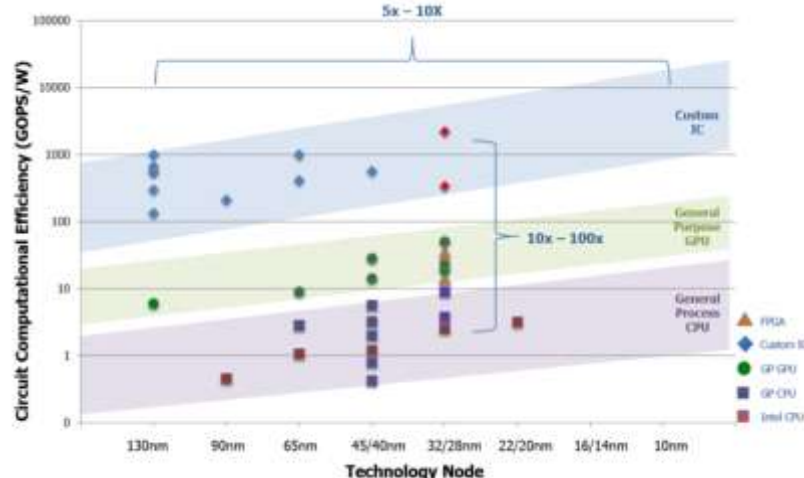
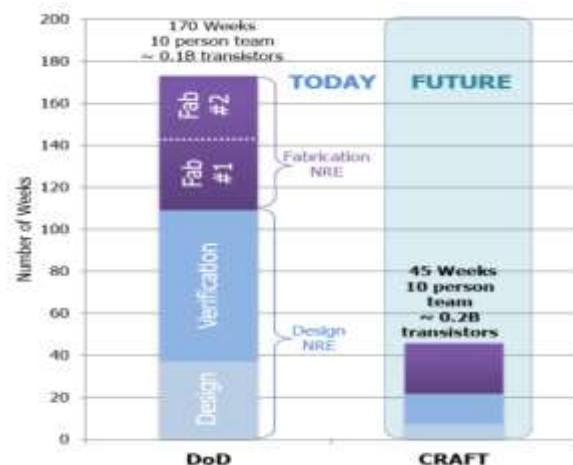
Количество пинов и потребляемая мощность интерфейса с памятью сокет для 10 TFlops микропроцессора и пропускной способности 10 TB/s

# Вариант ослабления последствий отставания отечественной ЭКБ для суперкомпьютеров

Приложения максимального риска отставания, связаны с военной и национальной безопасностью, требуют прорывных собственных СКТ (для любой страны, включая Россию)

Возможное решение P-ASIC (программируемых)

и здесь мы не одни - проект DARPA CRAFT



Научно-технические приложения

Специальные приложения - обработка сигналов и изображений, управление, информационная безопасность

# Выводы

- **Диверсификация архитектурных типов разрабатываемых высокопроизводительных микропроцессоров за счет создания проблемно-ориентированных P-ASIC.**
- **Увеличение количества design-групп (КБ) и выстраивание вертикали производства P-ASIC по схеме типа "КБ - опытный fubless-разработчик - фабрика".**
- **Активизация работ по сетевым маршрутизаторам и 3D-модулям памяти, что потребует усиление работ по оптико-электронным технологиям, нанофотонике, и 3D-конструктивам.**
- **Систематизация и повышение целенаправленности работ по сверхпроводниковой электронике с целью их скорейшего внедрения при создании P-ASIC.**
- **Организация работы экспертного сообщества для объективного планирования и оценки проектов, информационно-аналитической работы и обеспечения обучения специалистов в области разработки и производства P-ASIC.**

# Вопросы ?

**Эйсымонт Леонид Константинович**

**(ФГУП "НИИ "Квант", ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ Минобрнауки РФ**

**verger-lk@yandex.ru . eismont@rdi-kvant.ru )**