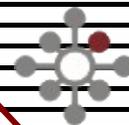


1

Опыт построения энергоэффективных компьютеров

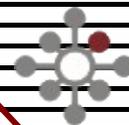
**С.М.Абрамов,
С.А.Амелькин,
А.А.Чичковский**



2

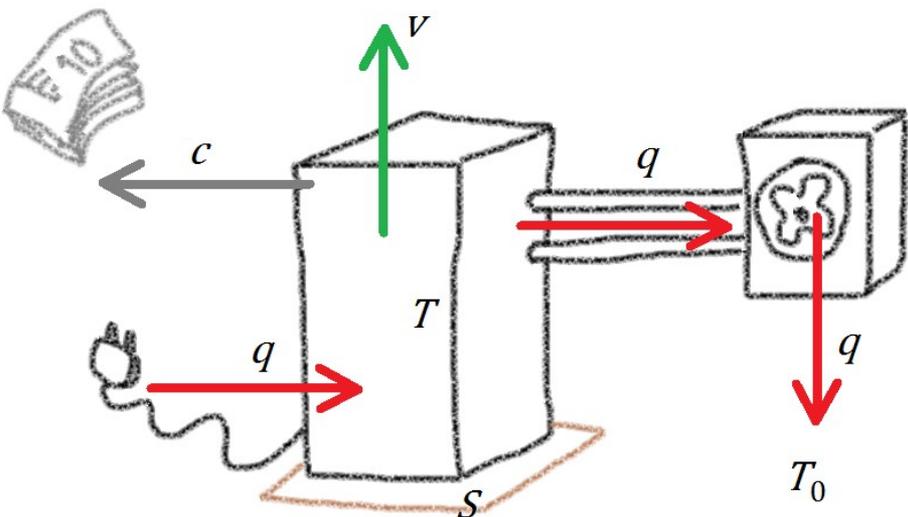
Содержание

- Эффективность компьютеров
- Пути повышения энергетической эффективности
- Индекс энергоэффективности
- Предельные возможности систем охлаждения



Эффективность компьютера

3



Эффективность

энергетическая $\eta = v/q$

конструктивная $\rho = v/S$

вычислительная $w = v/v_{\max}$

экономическая $r = c/v$

q - интенсивность потребления электроэнергии = интенсивность тепловыделения, Вт

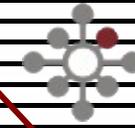
T - температура электронных компонентов (процессора), $^{\circ}\text{C}$

T_0 - температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$

S - площадь машинного зала, м^2

v - скорость вычислений, Мфлопс

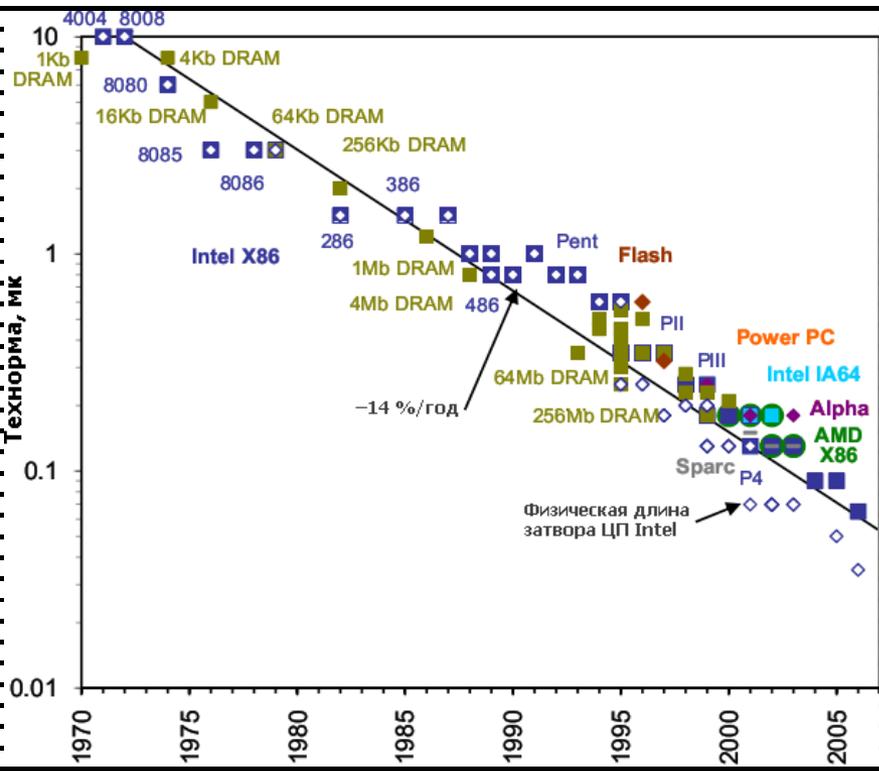
c - капитальные вложения, руб.



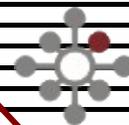
4

Задачи повышения эффективности

- Инженерно-технические решения $q(v) \rightarrow \min$
- Программные решения $w \rightarrow \max$
- Инфраструктура $\alpha = \frac{q}{T_0 - T} \rightarrow \max$
- Организационные мероприятия

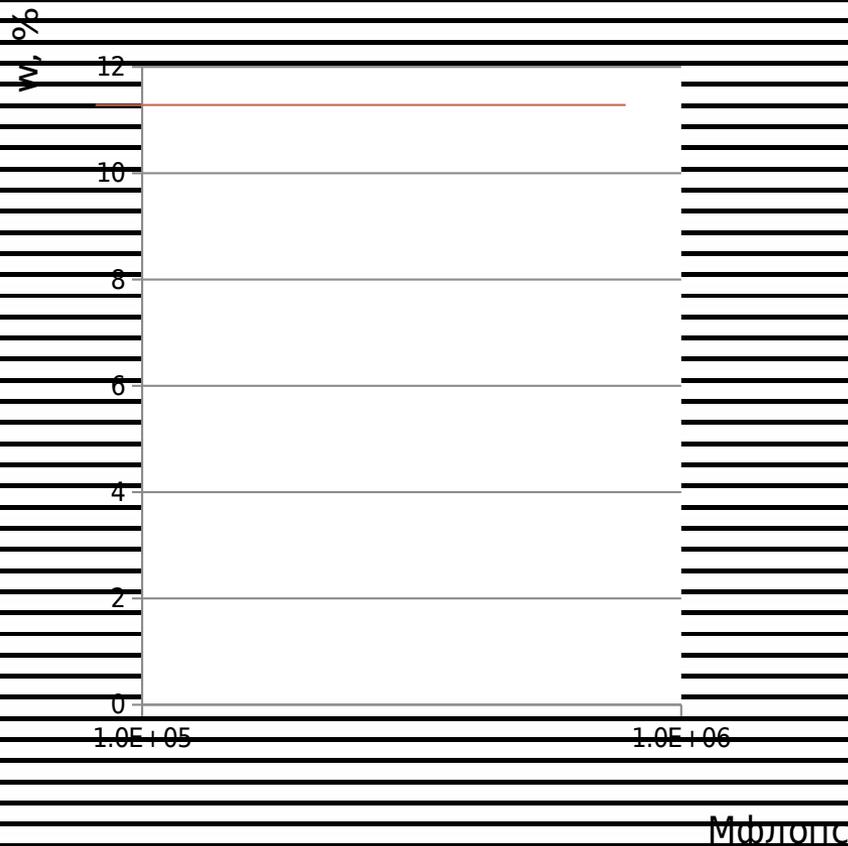


Р. Колвелл (директор группы полупроводников агентства DARPA).
 «Закон Мура существует и выполняется из последних сил. Возможность упаковки вдвое большего числа транзисторов каждые два года на кристалле того же размера будет исчерпана к 2020 году с 7 нм технологией производства или к 2022 году с 5 нм техпроцессом»



5

Задачи повышения эффективности

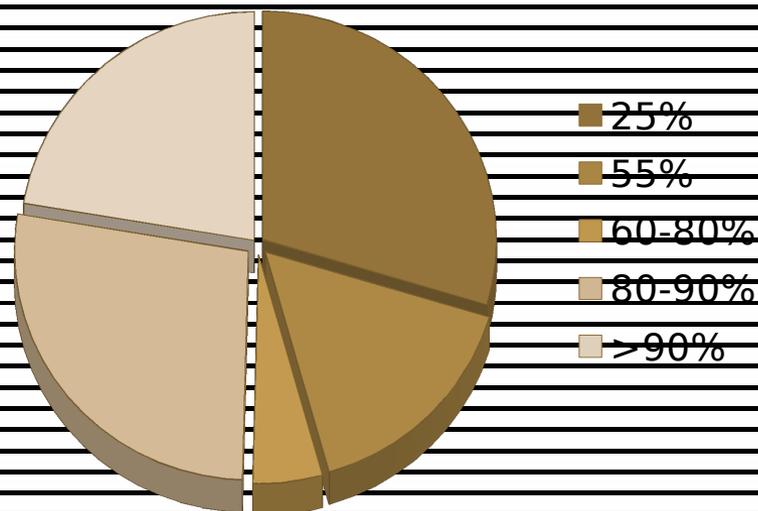


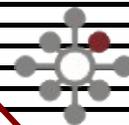
Инженерно-технические решения
 $q(v) \rightarrow \min$

Программные решения $w \rightarrow \max$

Инфраструктура $\alpha = \frac{q}{T_0 - T} \rightarrow \max$

Организационные мероприятия





6

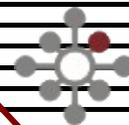
Энергоэффективность

Максимально достигнутое: 3,0
Гфлопс/Вт;

Среднее по Top500: 0,75 Гфлопс/Вт

Какие расходы учитывать?

На вычисления, на блоки
питания, на систему в
целом, на обеспечение
работы здания...



7

Пример

#65 IBM

Total cores:

35 568

Processor

cores:

7 488

GPU cores:

28 080

Processors: INTEL Xeon E5-2670, 115 W

Cores per socket: 8

Processors heat:

$(7\ 488/8) \cdot 115 = 107\ 640\ W$

GPU: INTEL Xeon Phi 5110P, 225 W

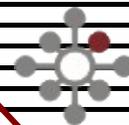
Cores per socket: 60

GPU heat:

$(28\ 080/60) \cdot 225 = 105\ 300\ W$

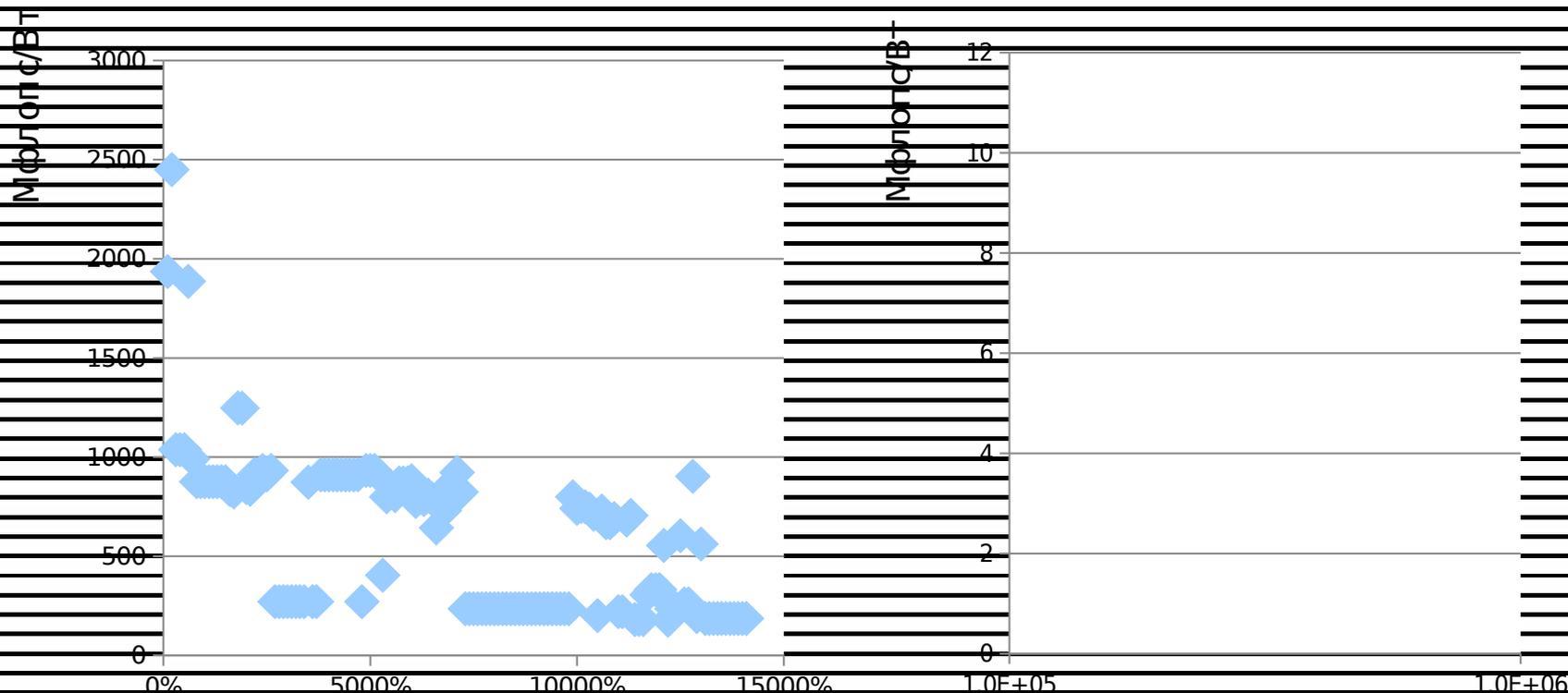
Total heat: 212 940 W = 99%

Applied in Top500: 215 600 W

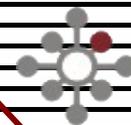


8

Статистика Top500

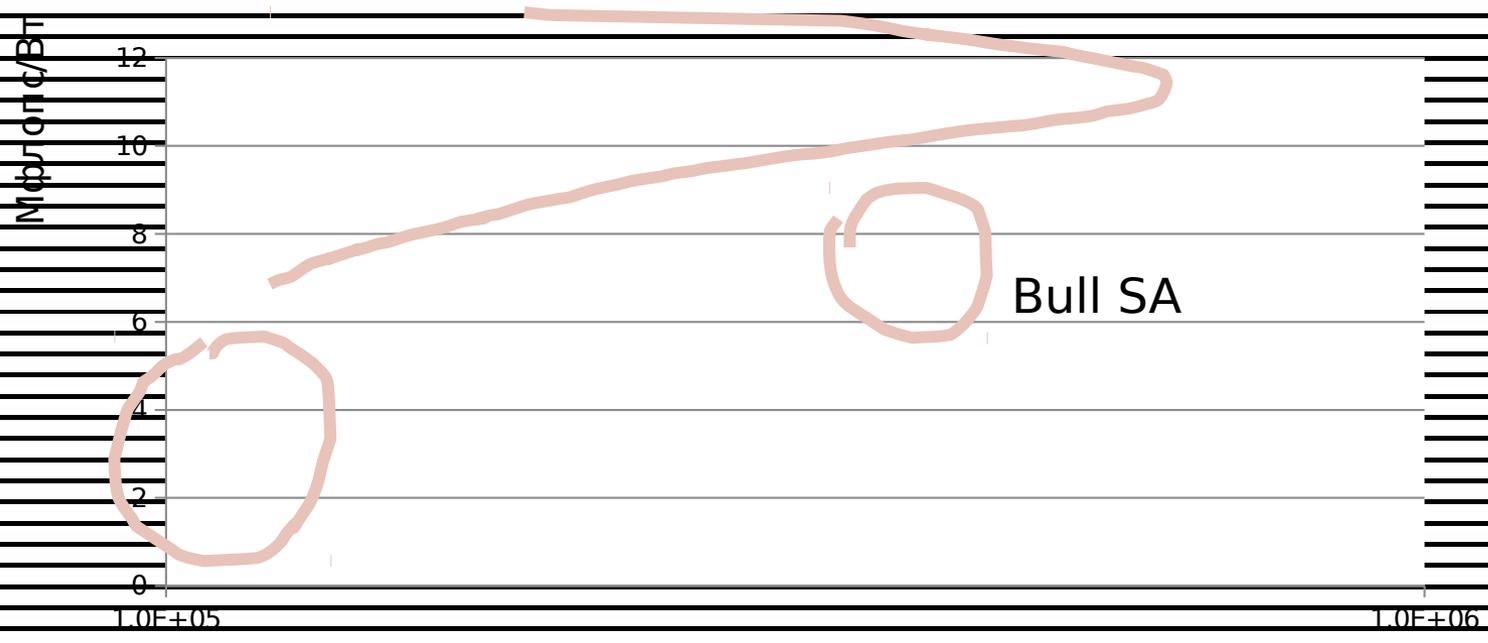


флoпc

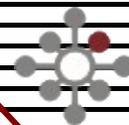


9

Приведенные данные Top500



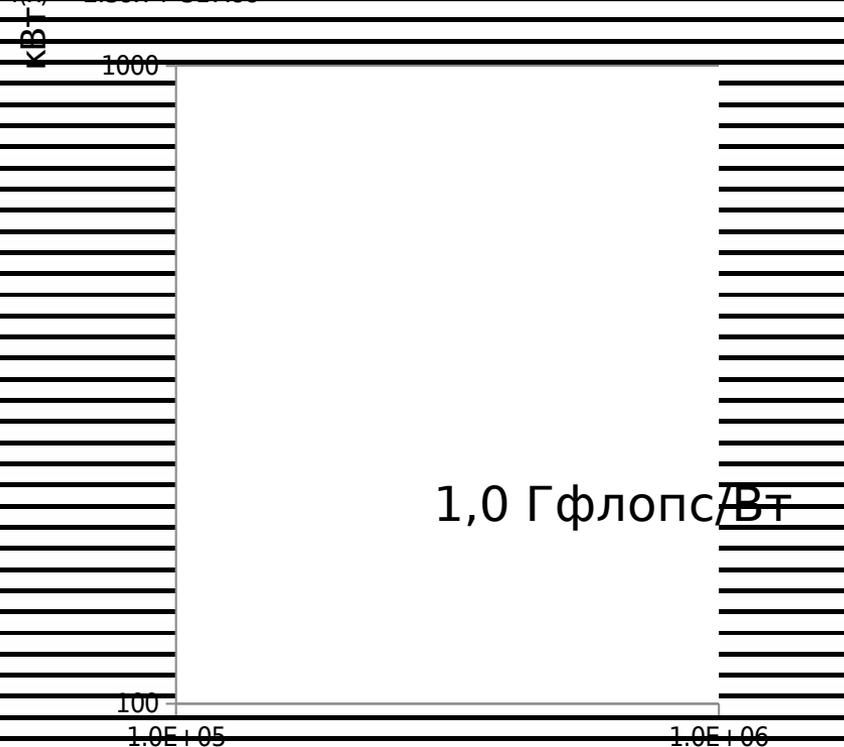
Максимально достигнутое: 1,0 флอปс/Вт;
Гфлอปс/Вт;



10

Индекс энергоэффективности

$$f(x) = 2.39x + 317.99$$

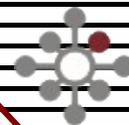


$$I = q_{\Phi} / q_e$$

v , Тфлоп с	$q=D$, кВт	A , кВт	B , кВт	C , кВт
10	35	20	27	32
50	175	100	135	160
100	350	200	270	315
200	450	250	340	400
500+	800	440	600	720

$$PUE = q_{\Phi} / q_b$$

Мфлопс



11

Возможности утилизации тепла

$$\begin{cases} q = \alpha S (T_0 - T) \\ q = c G (T_2 - T_1) \end{cases}$$

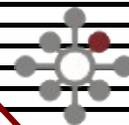
Задача:
требуется
определить
площадь
радиатора,
чтобы снять с
процессора
Socket G34 AMD
мощность 140 Вт

Показатель	Воздух	Вода
Коэффициент теплопередачи, Дж/(м ² К)	5	500
Теплоемкость, Дж/(м ³ К)	1,2 • 10 ³	1,5 • 10 ⁶

Поток, м/с	Площадь, м ²	Поток, м/с	Площадь, м ²	
2	0,933	Конвекция	0,0090	
10	0,102		0,02	0,0072
20	0,055		0,05	0,0057

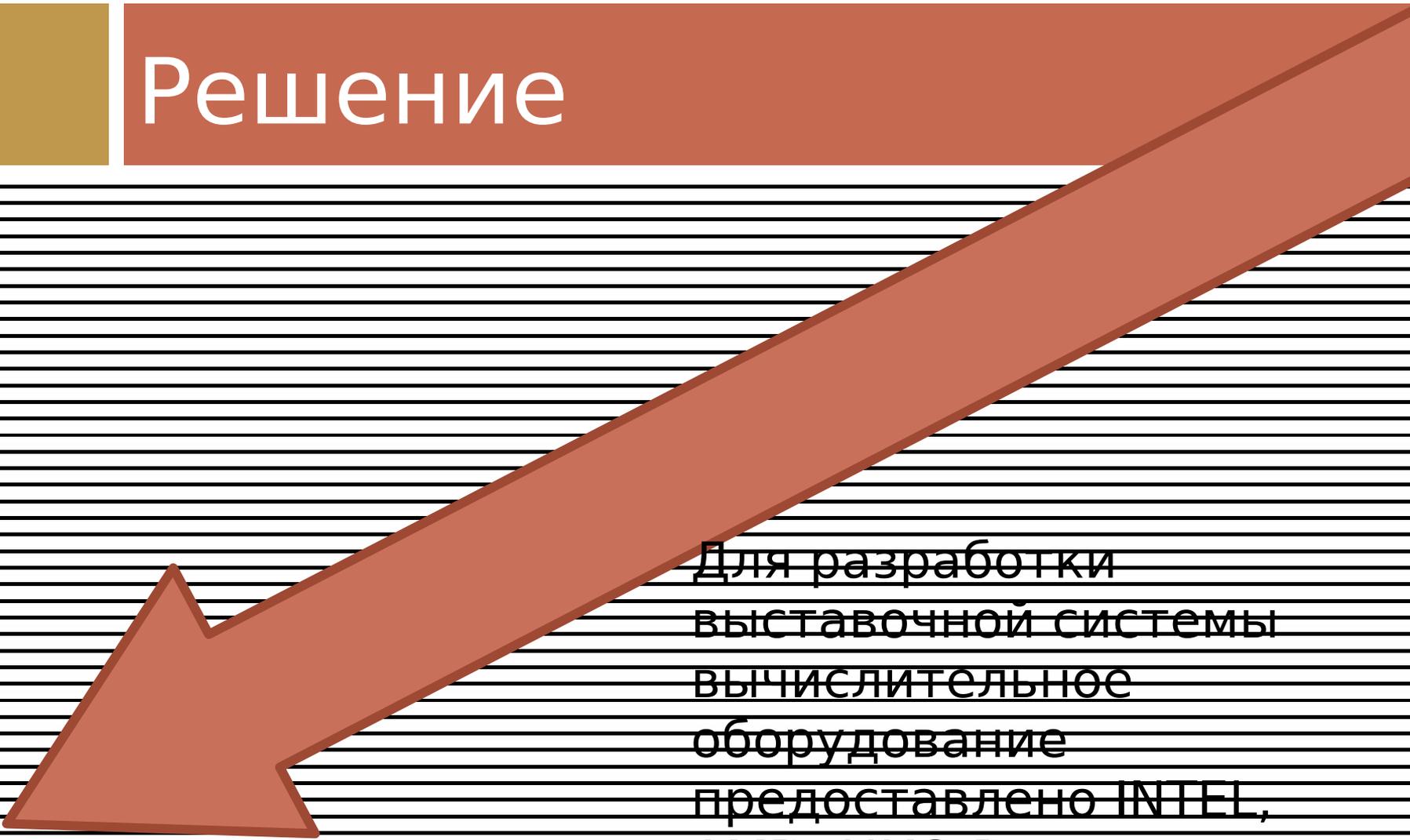


ThermalRight Silver Arrow
1,7 4,3 м/с = 28,3 /4 CFM

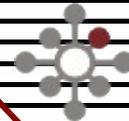


12

Решение



Для разработки
выставочной системы
вычислительное
оборудование
предоставлено INTEL,
AMD, ЦКО Росатом,
НИЦЭВТ.



13

IMMERS IMM-03-12

Слоты для установки модулей:

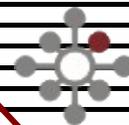
- универсальных вычислительных модулей - 6
- коммутационных модулей - 1
- управляющих модулей - 1
- дополнительных блоков питания - 1

Внешние порты:

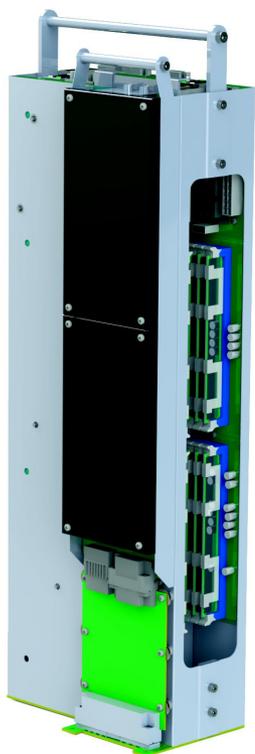
- Высокоскоростные (10/56Gb/s) порты (QSFP) - 36
- Ethernet порты 1Gb/s - 6
- Видео порт для подключения вычислительно-графического модуля (DVI) - 1



Энергопотребление всего	8,43 кВт
на вычислительный процесс	8,03 кВт
PUE -	1,05
Индекс энергоэффективности -	
Д	Абрау-Дюрсо, 2013



Спецификации модулей



Спецификация вычислительного модуля ТЭЗ ИММ-03-ВМ-И2-128

4 x CPU Intel® Xeon® E5-2697 v2, 128Gb RAM, 2 x Infiniband FDR,
2 x 1Gb/s Ethernet

Спецификация вычислительного модуля ТЭЗ ИММ-03-ВМ-И2-64

4 x CPU Intel® Xeon® E5-2697 v2, 64Gb RAM, 2 x Infiniband FDR,
2 x 1Gb/s Ethernet

Спецификация вычислительного модуля ТЭЗ ИММ-03-ВМ-А2-128

4 x CPU AMD Opteron™ 6382, 128Gb RAM, 2 x Infiniband FDR,
2 x 1Gb/s Ethernet

Спецификация вычислительно-графического модуля ТЭЗ ИММ-03-ВГМ-И2-64-Н

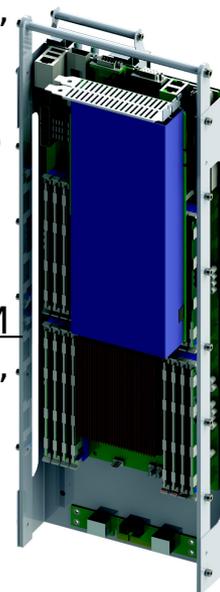
2 x CPU Intel® Xeon® E5-2697 v2, 64Gb RAM, 1 x Infiniband, 2 x 1Gb/s Ethernet,
1 видеоадаптер Nvidia GeForce® GTX680

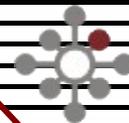
Спецификация вычислительно-графического модуля ТЭЗ ИММ-03-ВГМ-И2-64-И

2 x CPU Intel® Xeon® E5-2697 v2, 64Gb RAM, 1 x Infiniband, 2 x 1Gb/s Ethernet,
1 ускоритель Intel® Xeon Phi™

Спецификация вычислительно-графического модуля ТЭЗ ИММ-03-ВГМ-А2-64-Н

2 x CPU AMD Opteron™ 6382, 64Gb RAM, 1 x Infiniband, 2 x 1Gb/s Ethernet, 1 видеоадаптер Nvidia GeForce® GTX680





15

Абрамов abram@botik.ru

Сергей
Михайлович

Амелькин sam@sam.botik.ru

Сергей
Анатольевич

Чичковский [alexander_chichkovsk](mailto:alexander_chichkovskiy@storusint.com)

Александр
iy@storusint.com

Александрович