

**Энергоэффективность высокопроизводительных  
вычислительных комплексов:  
анализ современного состояния  
Российской суперкомпьютерной отрасли**

**С.М.Абрамов, С.А.Амелькин**

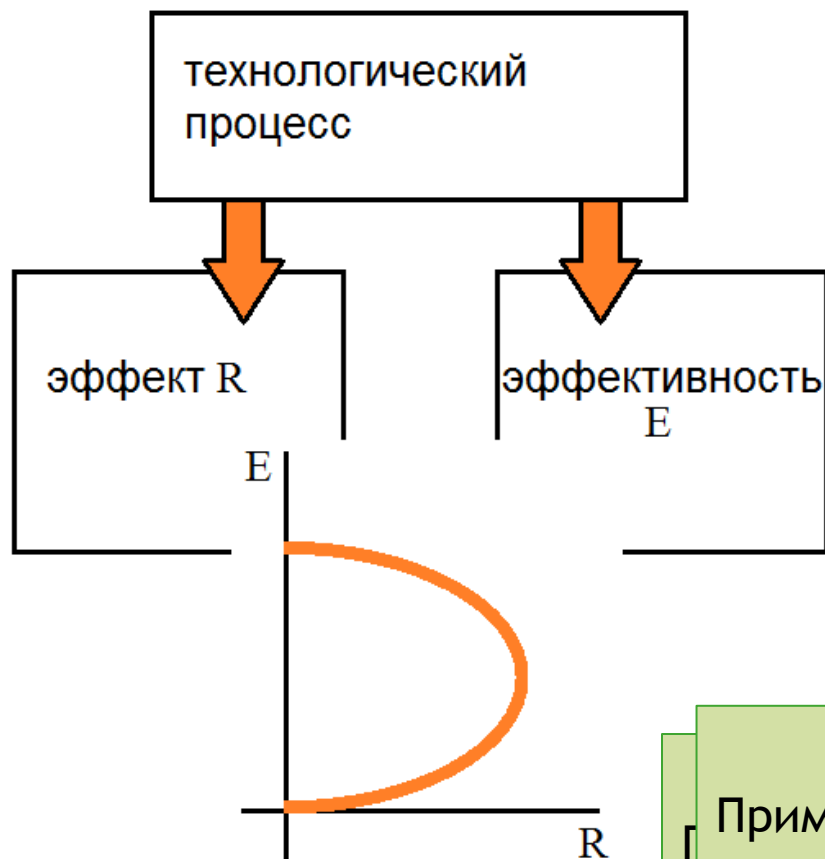


# СОДЕРЖАНИЕ

- Задачи оценивания энергоэффективности
- Основные показатели качества работы суперкомпьютеров и их особенности:
  - PUE – безразмерный, %
  - MFW – Мфлопс/Вт
- Интегральный критерий и его физический смысл
  - QTR – Вт/(К×Тфлопс)
- Выборка rus.green 2016
- Анализ состояния суперкомпьютерной отрасли



# ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ



- Оценка требуемой дополнительной энергетической мощности (крупные города);
- Оценка технологических методов, применимых для утилизации тепла;
- Оценка влияния на окружающую среду (тепловое загрязнение);
- Оценка возможностей экономии энергии;

Пример: суперкомпьютер

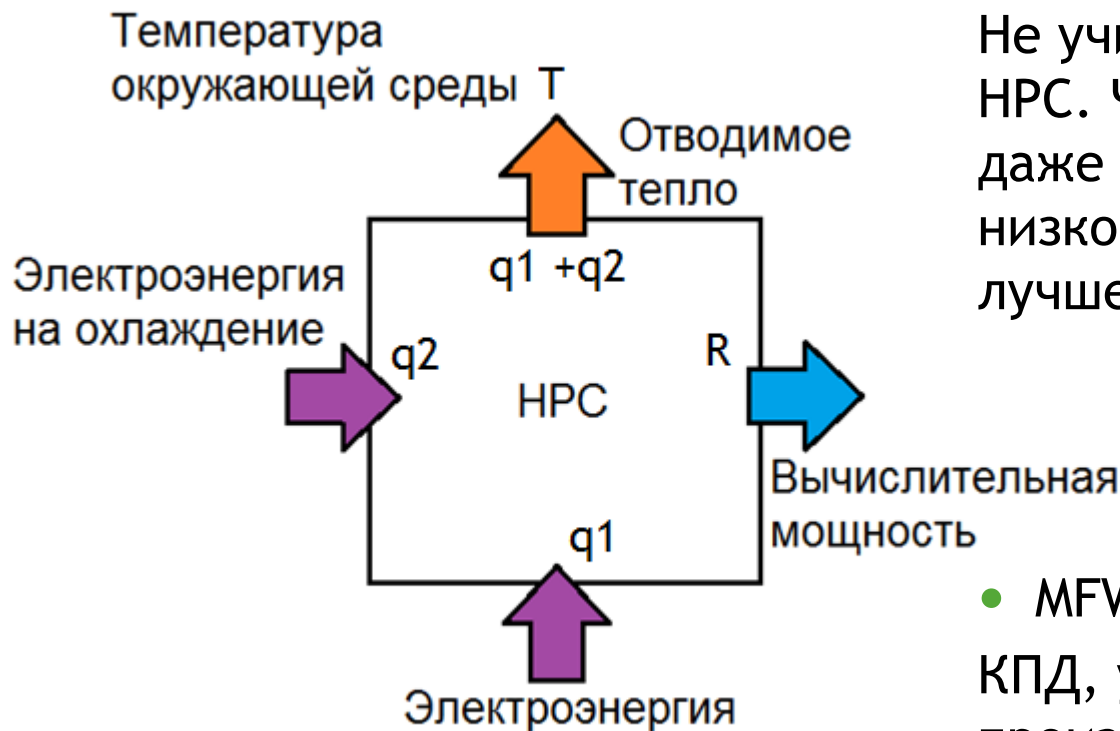
- Эффект — вычислительная мощность;
- Эффективность — PUE? MFW?



**2017**  
**ГОД ЭКОЛОГИИ**  
**В РОССИИ**



# МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ НРС



- $PUE = (q1 + q2) / q1$   
Величина, обратная КПД.  
Не учитывает реальный эффект НРС. Чем мощнее процессоры, даже если они старые и низкопроизводительные, тем лучше PUE.

- $MFW = R / q1$  (Мфлопс/Вт)  
КПД, учитывающий производительность процессоров. И только процессоров (Top Green).



# ИНТЕГРАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ QTR

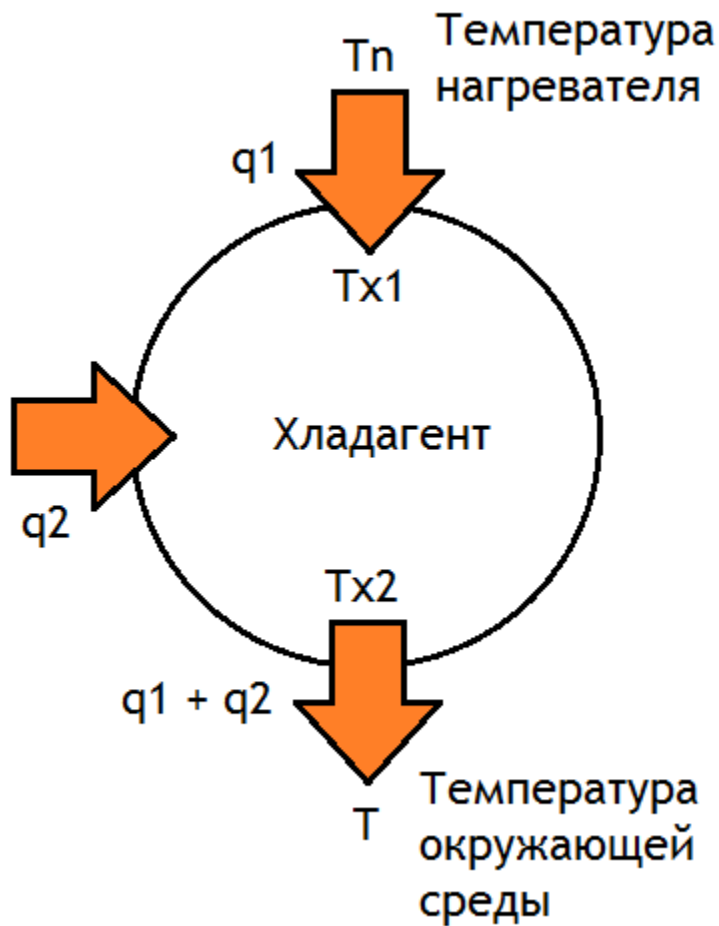
- Задача: найти критерий, связанный с PUE и MFW, учитывающий их плюсы, а также учитывающий климатические особенности места установки НРС.



Надо учитывать температуру  $T$  окружающей среды.



# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ



$$\frac{q_1}{T_{x1}} = \frac{q_1 + q_2}{T_{x2}}$$

$$\sigma = q_1 \left( \frac{1}{T_{x1}} - \frac{1}{T_n} \right) + (q_1 + q_2) \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{x2}} \right)$$

$$q_1 = a \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_n} \right)$$

$$\sigma = \frac{q_1^2}{a} + \frac{q_2}{T}$$

- Производство энтропии в системе – показатель необратимости протекающих в ней процессов.



# ИНТЕГРАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ QTR

- Задача: найти критерий, связанный с PUE и MFW, учитывающий их плюсы, а также учитывающий климатические особенности места установки НРС.

Надо учитывать критерий PUE (чем меньше, тем лучше).

Надо учитывать критерий MFW (чем больше, тем лучше).

Надо учитывать температуру  $T$  окружающей среды.

Физический смысл критерия QTR: удельное производство энтропии в системе с НРС за счет системы охлаждения, необратимость системы охлаждения.

Критерий QTR

$$QTR = q_2 / (T \times R)$$

$$QTR = (PUE - 1) / (T \times MFW)$$

Чем меньше, тем лучше





# ВЫБОРКА RUS.GREEN 2016

Место размещения	Суммарная мощность вычислителя, кВт	Суммарная заявленная мощность, кВт	Производительность (Tflop/s), Linpack	Средняя максимальная температура июня, °C	Индекс Rus. Green QTR	Разработчик
Москва, гос. заказчик	84,0	94,0	205,0	22,0	0,147	Иммерс
Санкт-Петербург, Суперкомпьютерный центр СПбПУ	505,0	580,0	1230,0	20,0	0,208	ГК РСК
Москва, МСЦ РАН	181,0	222,7	383,2	22,0	0,369	ГК РСК
Екатеринбург, Вычислительный центр ИММ УрО РАН	117,0	132,0	109,9	23,0	0,461	Hewlett Packard, Открытые технологии
Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН	40,0	48,0	38,2	22,9	0,708	Hewlett-Packard
Челябинск, ЮУрГУ	215,0	294,0	288,2	24,0	0,922	ГК РСК
Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН	110,0	129,6	21,9	22,9	3,022	Hewlett-Packard
Владивосток, ИАПУ ДВО РАН	30,0	47,0	11,8	22,0	4,884	Supermicro
Москва, МСЦ РАН	17,3	100,0	53,5	22,0	5,240	ГК РСК
Москва, МСЦ РАН	12,2	100,0	45,9	22,0	6,486	ГК РСК
Томск, МСЦ ТГУ	113,7	300,0	78,3	22,3	8,059	Т-Платформы
Москва, МСЦ РАН	271,7	600,0	119,9	22,0	9,280	Hewlett-Packard
Черноголовка, ИПХФ РАН, ННЦ РАН	205,0	280,0	14,5	21,0	17,593	Hewlett-Packard



# СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЙ ОТРАСЛИ

Представлены все современные системы охлаждения

Системы охлаждения	QTR, Вт/(К×Тфлопс)
Воздушные	15 - 30
Воздушные с изолированным горячим коридором	10 - 20
Воздушные с интегрированным в шкаф оборудованнием охлаждения	1 - 10
Гибридные с водяным охлаждением процессоров	0,1 - 1,0
Иммерсионные	0,05 - 0,20



**IMMERS 8 R5**

ГК РСК: Торнадо, PetaStream

Т-Платформы: А-класс

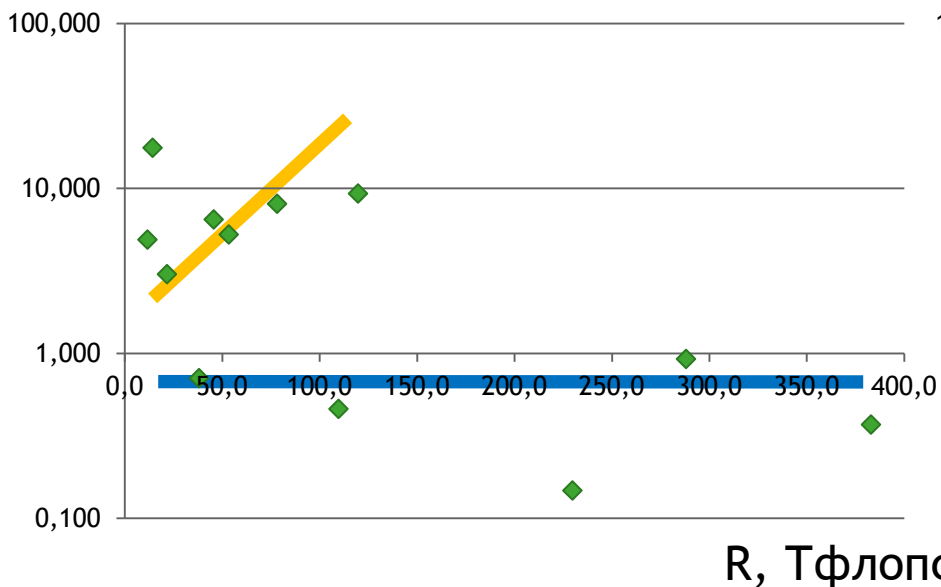


## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

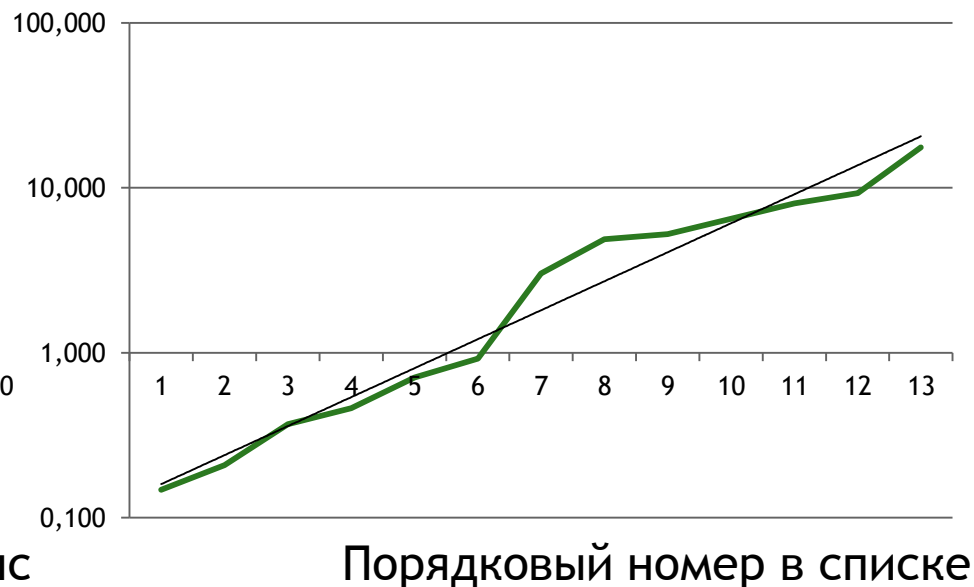
- Два направления развития: воздушное и жидкостное охлаждение;

- Экспоненциальный рост QTR по представленным суперкомпьютерам

QTR, Вт/(К×Тфлопс)



QTR, Вт/(К×Тфлопс)



- Оценочные расчеты показали, что самые энергоэффективные в мире НРС соответствуют значениям top5: QTR=0,15; top10: QTR=0,25; top20: QTR=0,30



Институт программных систем имени А.К.Айламазяна РАН

Абрамов Сергей Михайлович,

[abram@botik.ru](mailto:abram@botik.ru)

Амелькин Сергей Анатольевич

[sam@sam.botik.ru](mailto:sam@sam.botik.ru)



# СЕРТИФИКАТ

Rus.Green

Высокопроизводительная вычислительная система  
Вычислительного центра Института математики и механики  
имени Н. Н. Красовского УрО РАН  
входит в Российский список энергоэффективных  
высокопроизводительных вычислительных систем RUS.GREEN 2016  
(значение интегрального индекса QTR = 0,461).

Председатель Оргкомитета НСКФ  
член-корреспондент РАН

С.М.Абрамов

Директор АНО НСКФ

Е.П.Лилитко